

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный университет промышленных
технологий и дизайна»
Кафедра машиноведения

ДИНАМИКА ЛИФТОВ И ЭСКАЛАТОРОВ И МОДЕЛИРОВАНИЕ НА ЭВМ

Методические указания к выполнению курсовой работы
для студентов направления подготовки 15.03.02 –
«Технологические машины и оборудование», профиль подготовки
«Лифты и эскалаторы» заочной формы обучения

Составители:
И. М. Беспалова
Л. С. Мазин

Санкт-Петербург
2018

Оглавление

Введение	3
1. Исследование динамики системы с двумя степенями свободы	4
1.1. Математическая модель для случая силового возмущения	5
1.2. Математическая модель для случая кинематического возмущения.....	7
1.3. Решение дифференциальных уравнений математической модели	8
2. Исследование динамики системы с гасителем колебаний.....	11
2.1. Разработка математической модели системы с гасителем	11
2.2. Решение дифференциальных уравнений математической модели системы с гасителем.....	12
2.3. Определение параметров динамического гасителя	14
3 Статический расчет системы виброизоляции	17
4 Порядок выполнения работы и требования к содержанию пояснительной записки.....	19
Библиографический список.....	20
Приложение А. Варианты заданий.....	21
Приложение Б. Правила оформления пояснительной записки	24
Приложение В. Титульный лист пояснительной записки	33
Приложение Г. Бланк задания на курсовую работу	34

Введение

Целями курсовой работы являются: закрепление студентами теоретических знаний, а также приобретение практических навыков динамических расчетов.

В ходе выполнения курсовой работы студенты должны изучить проблемы виброзащиты, исследовать влияние вибрационных воздействий на динамику объектов, ознакомиться с методами и средствами снижения виброактивности, освоить порядок расчета параметров виброзащитных устройств, а также научиться проводить исследование динамики систем с использованием ЭВМ.

Методические указания включают в себя основы теории по изучаемым вопросам, порядок выполнения расчетов, варианты заданий для самостоятельной работы, а также правила оформления отчета о выполнении курсовой работы (пояснительной записки).

В задании на курсовую работу (приложение А) приводится схема объекта виброзащиты с двумя степенями свободы, для которого необходимо рассчитать параметры инерционного динамического гасителя колебаний и выполнить статический расчет системы виброизоляции.

Перед началом выполнения работы следует изучить теоретические основы исследования динамики системы с двумя степенями свободы (раздел 1), порядок определения параметров гасителя колебаний (раздел 2), а также порядок выполнения статического расчета системы виброизоляции (раздел 3). Затем следует ознакомиться с порядком выполнения работы и требованиями к содержанию пояснительной записки (раздел 4). В приложениях Б, В и Г содержатся требования по оформлению пояснительной записки.

1. Исследование динамики системы с двумя степенями свободы

Рассмотрим объект (рис. 1.1) массы m , установленный на виброизоляторах жесткостью c_1 и c_2 . Данный объект может совершать вынужденные колебания под действием силового $P(t)$ или кинематического $\xi(t)$ возмущения. Требуется провести исследование динамики системы и изучить возможности гашения колебаний.

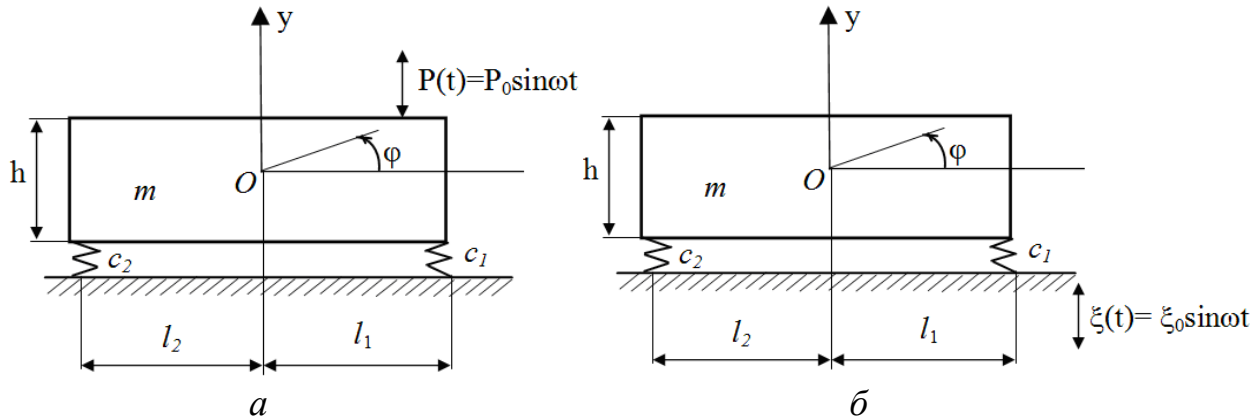


Рис. 1.1. Схема объекта исследования:
 a – силовое возмущение, $б$ – кинематическое возмущение

Для исследования динамики системы необходимо составить математическую модель. С этой целью следует воспользоваться уравнением Лагранжа II рода в виде:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial V}{\partial q_i} = Q_i, \quad (1.1)$$

где T – кинетическая энергия, V – потенциальная энергия, t – время, q_i и $\dot{q}_i$ – обобщенные координаты и обобщенные скорости, Q_i – обобщенные возмущающие силы, соответствующие выбранным обобщенным координатам, $i = \overline{1, s}$ – номер координаты, s – число степеней свободы.

Рассматриваемая система имеет две степени свободы ($s=2$). За обобщенные координаты примем вертикальное перемещение y центра тяжести O объекта, угол φ поворота его вокруг оси, проходящей через точку O . То есть, для подстановки в уравнение Лагранжа получим: $i = \overline{1, 2}$; $q_1 = y$; $q_2 = \varphi$. Тогда уравнения Лагранжа можно записать в виде:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{y}} \right) - \frac{\partial T}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial y} = Q_y, \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi} + \frac{\partial V}{\partial \varphi} = Q_\varphi. \end{cases} \quad (1.2)$$

Рассмотрим отдельно случаи силового и кинематического возмущений при составлении математической модели объекта.

1.1. Математическая модель для случая силового возмущения

Пусть вынужденные колебания объекта вызваны возмущающей силой $P(t)$, меняющейся по гармоническому закону (рис. 1.1, а). Требуется составить дифференциальные уравнения движения объекта.

Чтобы получить производные, необходимые для подстановки в уравнения Лагранжа (1.2), нужно определить кинетическую и потенциальную энергии.

Кинетическая энергия определяется выражением:

$$T = \frac{1}{2} m \dot{y}^2 + \frac{1}{2} I \dot{\varphi}^2. \quad (1.3)$$

Из рис. 1.2 видно, что деформация пружины жесткости c_1 для малого угла φ равна $y - l_1 \varphi$, а деформация пружины жесткости c_2 равна $y + l_2 \varphi$. Тогда потенциальная энергия записывается в виде:

$$V = \frac{1}{2} c_1 (y - l_1 \varphi)^2 + \frac{1}{2} c_2 (y + l_2 \varphi)^2. \quad (1.4)$$

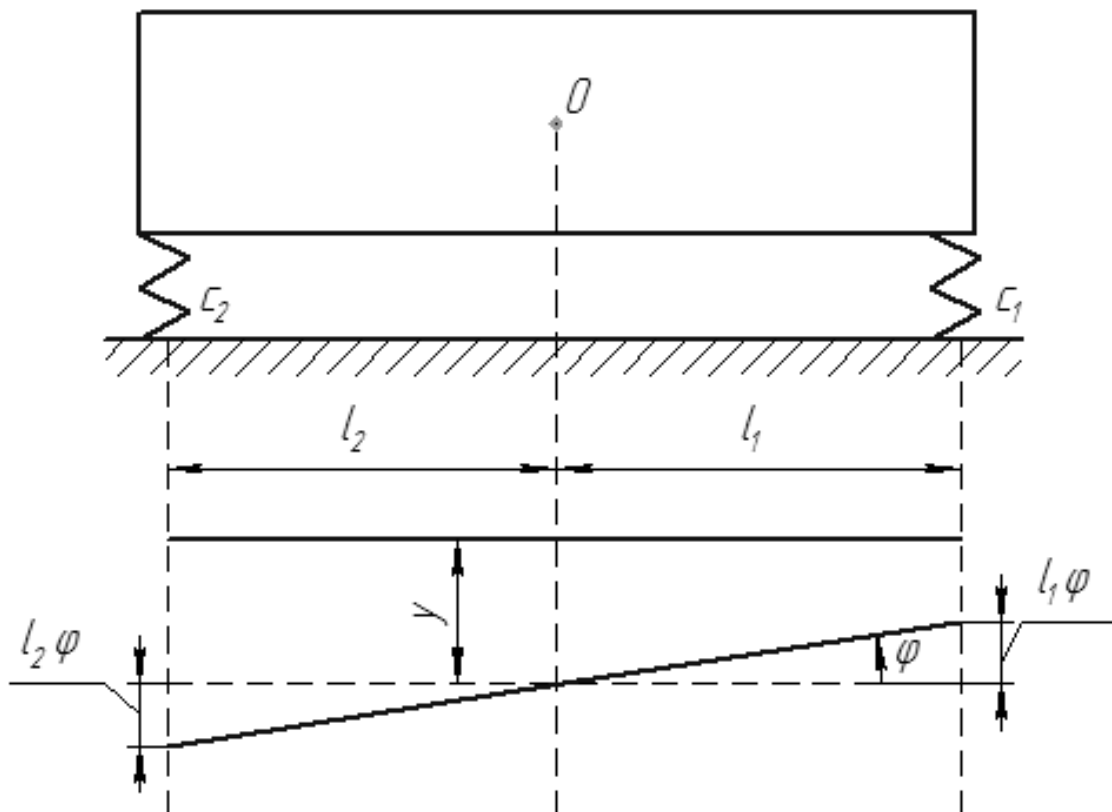


Рис. 1.2. Определение деформаций

Для подстановки в первое из уравнений (1.2) возьмем производные от кинетической и потенциальной энергии, а также запишем обобщенную силу:

$$\begin{aligned}
\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{y}}\right) &= m\ddot{y}, \\
\frac{\partial T}{\partial y} &= 0, \\
\frac{\partial V}{\partial y} &= c_1(y - l_1\varphi) + c_2(y + l_2\varphi), \\
Q_y &= P(t) = P_0 \sin \alpha t.
\end{aligned} \tag{1.5}$$

С учетом полученных производных первое уравнение математической модели системы имеет вид:

$$m\ddot{y} + c_1(y - l_1\varphi) + c_2(y + l_2\varphi) = P_0 \sin \alpha t. \tag{1.6}$$

Аналогично можно получить необходимые производные для подстановки во второе уравнение системы (1.2):

$$\begin{aligned}
\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}}\right) &= I\ddot{\varphi}, \\
\frac{\partial T}{\partial \varphi} &= 0, \\
\frac{\partial V}{\partial \varphi} &= -c_1 l_1 (y - l_1\varphi) + c_2 l_2 (y + l_2\varphi), \\
Q_\varphi &= 0.
\end{aligned} \tag{1.7}$$

Тогда второе уравнение математической модели системы с гасителем имеет вид:

$$I\ddot{\varphi} - c_1 l_1 (y - l_1\varphi) + c_2 l_2 (y + l_2\varphi) = 0. \tag{1.8}$$

Таким образом, математическая модель объекта представляет собой систему двух дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} m\ddot{y} + c_1(y - l_1\varphi) + c_2(y + l_2\varphi) = P_0 \sin \omega t, \\ I\ddot{\varphi} - c_1 l_1 (y - l_1\varphi) + c_2 l_2 (y + l_2\varphi) = 0. \end{cases} \tag{1.9}$$

1.2. Математическая модель для случая кинематического возмущения

При кинематическом возмущении $\xi(t)$ колебания объекта вызываются некоторым заданным движением каких-либо его точек (рис. 1.1, б). Составим дифференциальные уравнения движения объекта.

В данном случае кинетическая энергия определяется выражением:

$$T = \frac{1}{2}m(\dot{y} + \dot{\xi}(t))^2 + \frac{1}{2}I\dot{\varphi}^2. \quad (1.10)$$

Потенциальная энергия записывается аналогично случаю силового возмущения (см. п. 1.1 и рис. 1.2) в виде:

$$V = \frac{1}{2}c_1(y - l_1\varphi)^2 + \frac{1}{2}c_2(y + l_2\varphi)^2. \quad (1.11)$$

Производные и обобщенные силы, необходимые для подстановки в уравнения Лагранжа (1.2) в данном случае имеют вид:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{y}} \right) &= m(\ddot{y} + \ddot{\xi}(t)), \\ \frac{\partial T}{\partial y} &= 0, \\ \frac{\partial V}{\partial y} &= c_1(y - l_1\varphi) + c_2(y + l_2\varphi), \\ Q_y &= 0, \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \right) &= I\ddot{\varphi}, \\ \frac{\partial T}{\partial \varphi} &= 0, \\ \frac{\partial V}{\partial \varphi} &= -c_1l_1(y - l_1\varphi) + c_2l_2(y + l_2\varphi), \\ Q_\varphi &= 0. \end{aligned} \quad (1.12)$$

Математическая модель объекта представляет собой систему двух дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} m(\ddot{y} + \ddot{\xi}(t)) + c_1(y - l_1\varphi) + c_2(y + l_2\varphi) = 0, \\ I\ddot{\varphi} - c_1l_1(y - l_1\varphi) + c_2l_2(y + l_2\varphi) = 0. \end{cases} \quad (1.13)$$

С учетом того, что $\ddot{\xi}(t) = -\xi_0\omega^2 \sin\omega t$, можно записать:

$$\begin{cases} m\ddot{y} + c_1(y - l_1\varphi) + c_2(y + l_2\varphi) = m\xi_0\omega^2 \sin\omega t, \\ I\ddot{\varphi} - c_1l_1(y - l_1\varphi) + c_2l_2(y + l_2\varphi) = 0. \end{cases} \quad (1.14)$$

Полученная система дифференциальных уравнений аналогична системе (1.9), составленной для случая силового возмущения.

1.3. Решение дифференциальных уравнений математической модели

Рассмотрим решение дифференциальных уравнений на примере математической модели для случая силового возмущения (действия при кинематическом возмущении аналогичны). Преобразуем уравнения (1.9):

$$\begin{cases} \ddot{y} + \frac{c_1 + c_2}{m} y + \frac{c_2l_2 - c_1l_1}{m} \varphi = \frac{P_0}{m} \sin\omega t, \\ \ddot{\varphi} + \frac{c_1l_1^2 + c_2l_2^2}{I} \varphi + \frac{c_2l_2 - c_1l_1}{I} y = 0. \end{cases} \quad (1.15)$$

Для удобства дальнейших преобразований введем обозначения:

$$\begin{aligned} a_{11} &= \frac{c_1 + c_2}{m}; \quad a_{12} = \frac{c_2l_2 - c_1l_1}{m}; \quad a_{21} = \frac{c_1l_1^2 + c_2l_2^2}{I}; \\ a_{22} &= \frac{c_2l_2 - c_1l_1}{I}; \quad P_1 = \frac{P_0}{m}. \end{aligned} \quad (1.16)$$

С учетом обозначений уравнения математической модели примут вид:

$$\begin{cases} \ddot{y} + a_{11}y + a_{12}\varphi = P_1 \sin\omega t, \\ \ddot{\varphi} + a_{21}y + a_{22}\varphi = 0. \end{cases} \quad (1.18)$$

Решения уравнений (1.18) будем искать в виде:

$$y = A_1 \sin\omega t; \quad \varphi = A_2 \sin\omega t, \quad (1.19)$$

где A_1, A_2 – амплитуды колебаний.

Подставляя (1.19) в дифференциальные уравнения (1.18) получим следующую систему алгебраических уравнений для определения амплитуд колебаний A_1 и A_2 .

$$\begin{cases} (a_{11} - \omega^2)A_1 + a_{12}A_2 = P_1, \\ a_{21}A_1 + (a_{22} - \omega^2)A_2 = 0. \end{cases} \quad (1.20)$$

Решение системы уравнений (1.20):

$$A_i = \frac{4}{\Delta}, \quad i = \overline{1,2} \quad (1.21)$$

где Δ – определитель, составленный из коэффициентов системы, Δ_i – определитель, который получается из Δ путем замены i -го столбца правыми частями уравнений системы (1.20).

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_{11} - \omega^2 & a_{12} \\ a_{22} & a_{21} - \omega^2 \end{vmatrix}, \quad \Delta_1 = \begin{vmatrix} P_1 & a_{12} \\ 0 & a_{21} - \omega^2 \end{vmatrix}, \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_{11} - \omega^2 & P_1 \\ a_{22} & 0 \end{vmatrix}. \quad (1.22)$$

После вычисления определителей получим следующие формулы для амплитуд:

$$A_1 = \frac{P_1(a_{21} - \omega^2)}{(a_{11} - \omega^2)(a_{21} - \omega^2) - a_{12}a_{22}},$$

$$A_2 = \frac{-P_1a_{22}}{(a_{11} - \omega^2)(a_{21} - \omega^2) - a_{12}a_{22}}. \quad (1.23)$$

Условие

$$(a_{11} - \omega^2)(a_{21} - \omega^2) - a_{12}a_{22} = 0 \quad (1.24)$$

определяет собственные частоты $\omega_1 = k_1$ и $\omega_2 = k_2$ рассматриваемой системы. При выполнении условия (1.24) амплитуды A_1 и A_2 , в соответствии с (1.23), стремятся к бесконечности, то есть имеет место резонанс. Таким образом, можно сказать, что резонанс наступает при совпадении частоты возмущающей силы ω с любой из собственных частот.

С использованием выражений (1.23) и (1.19) можно построить амплитудно-частотные характеристики $A_1(\omega)$ и $A_2(\omega)$, а также зависимости линейного и углового перемещений от времени $y(t)$ и $\varphi(t)$.

Характерный вид амплитудно-частотных характеристик приведен на *рис. 1.3*.

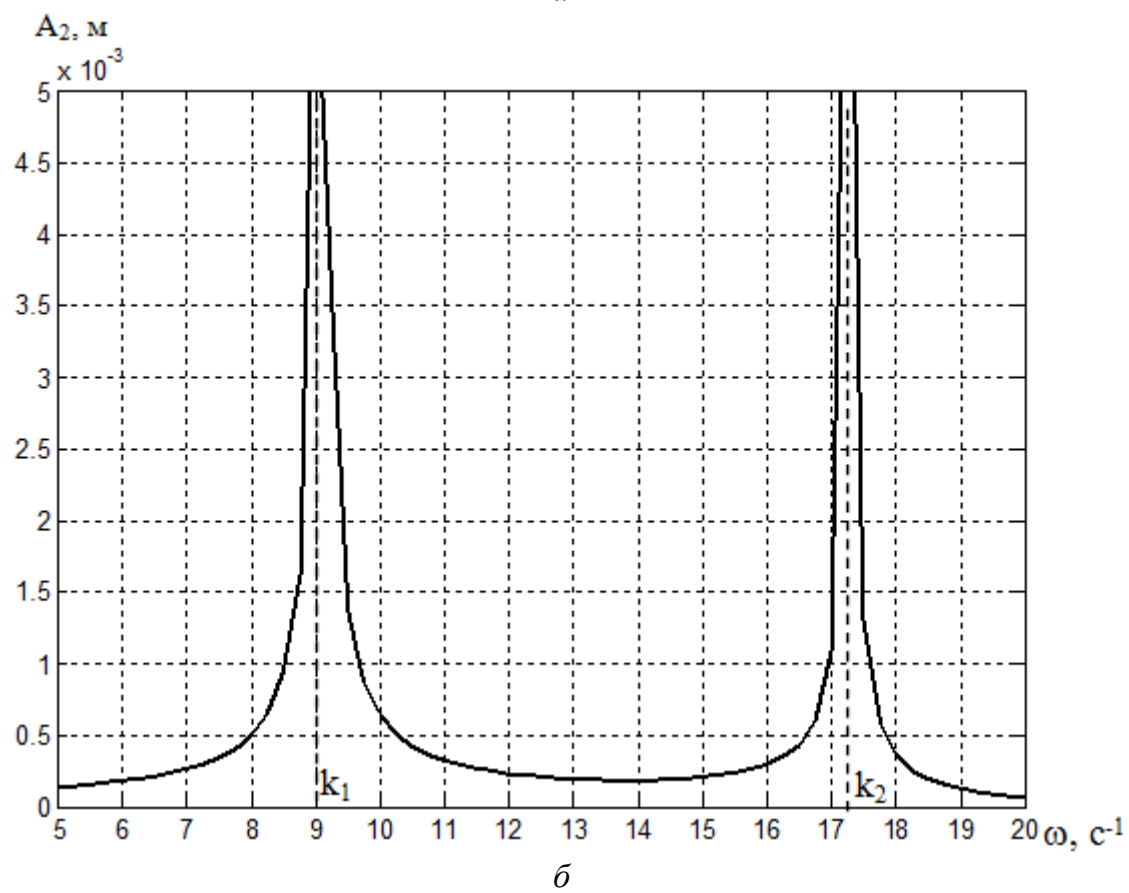
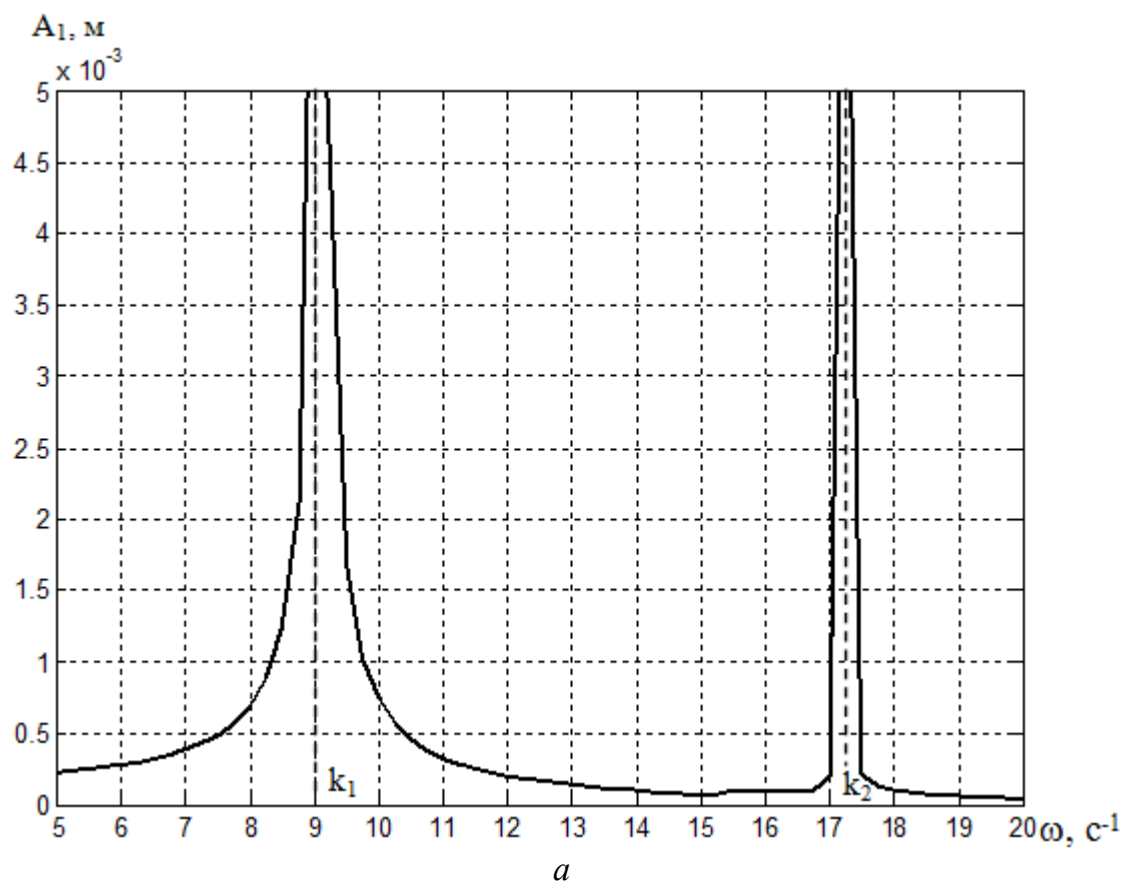


Рис. 1.3. Амплитудно-частотные характеристики:
 a – для линейных колебаний, b – для угловых колебаний

2. Исследование динамики системы с гасителем колебаний

Для борьбы с колебаниями системы, подверженной возмущающему воздействию можно использовать динамические гасители колебаний. При этом к системе добавляют дополнительную массу на упругом элементе, что позволяет, при определенных значениях жесткости и массы гасителя, добиться устранения колебаний системы. Такой гаситель эффективен лишь при постоянстве частоты возмущающего воздействия.

2.1. Разработка математической модели системы с гасителем

Рассмотрим порядок составления математической модели системы, находящейся под воздействием силового $P(t)$ или кинематического $\xi(t)$ возмущения, при наличии гасителя колебаний массы m_g , присоединенного к объекту виброзащиты с использованием упругого элемента жесткости c_g (рис. 2.1).

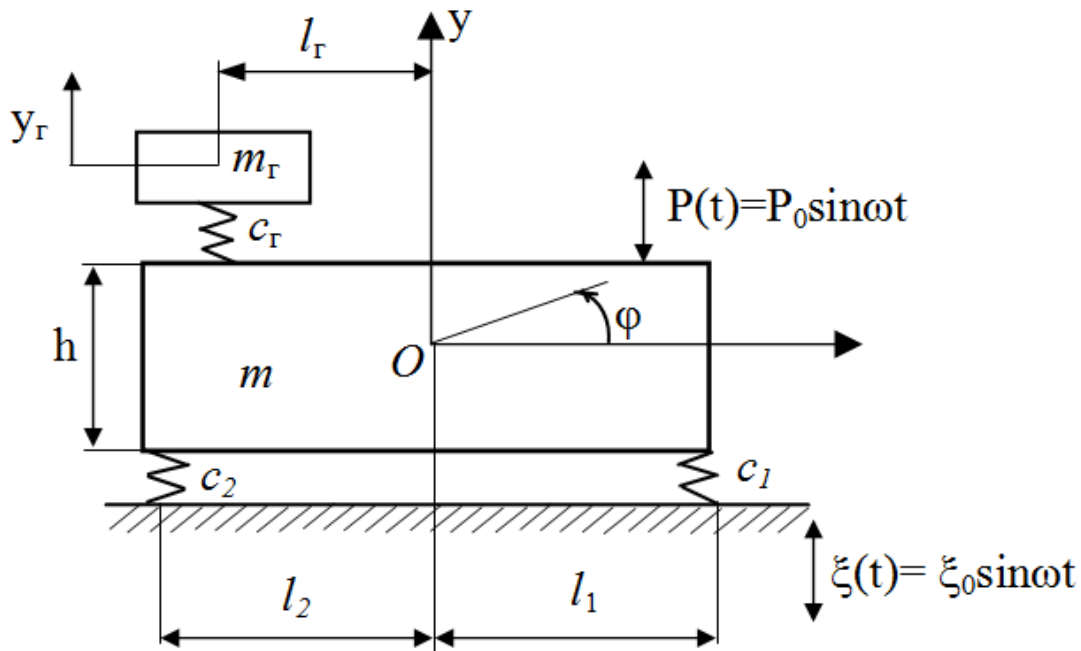


Рис. 2.1. Схема установки динамического гасителя колебаний

Для разработки математической модели воспользуемся уравнением Лагранжа II рода в виде (1.1).

Рассматриваемая система имеет три степени свободы ($s=3$). За обобщенные координаты примем вертикальное перемещение y центра тяжести O объекта, угол φ поворота его вокруг оси, проходящей через точку O и вертикальное перемещение гасителя y_g . То есть, для подстановки в уравнение Лагранжа получим: $i = \overline{1,3}$; $q_1 = y$; $q_2 = \varphi$; $q_3 = y_g$. Тогда уравнения Лагранжа можно записать в виде:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{y}}\right) - \frac{\partial T}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial y} = Q_y, \\ \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}}\right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi} + \frac{\partial V}{\partial \varphi} = Q_\varphi, \\ \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{y}_z}\right) - \frac{\partial T}{\partial y_z} + \frac{\partial V}{\partial y_z} = Q_{y_z}. \end{cases} \quad (2.1)$$

Чтобы получить производные, необходимые для подстановки в уравнения Лагранжа, требуется определить кинетическую и потенциальную энергии.

Кинетическая энергия определяется при силовом возмущении:

$$T = \frac{1}{2} m \dot{y}^2 + \frac{1}{2} I \dot{\varphi}^2 + \frac{1}{2} m_z \dot{y}_z^2; \quad (2.2)$$

при кинематическом возмущении:

$$T = \frac{1}{2} m (\dot{y} + \dot{\xi}(t))^2 + \frac{1}{2} I \dot{\varphi}^2 + \frac{1}{2} m_z \dot{y}_z^2. \quad (2.3)$$

Потенциальная энергия записывается в виде:

$$V = \frac{1}{2} [c_1(y - l_1\varphi)^2 + c_2(y + l_2\varphi)^2 + c_z(y_z - y - l_z\varphi)^2]. \quad (2.4)$$

Подставив выражения для кинетической и потенциальной энергии в уравнения Лагранжа (2.1) получим математическую модель системы с гасителем в виде системы трех дифференциальных уравнений.

При силовом возмущении:

$$\begin{cases} m\ddot{y} + c_1(y - l_1\varphi) + c_2(y + l_2\varphi) - c_z(y_z - y - l_z\varphi) = P_0 \sin \omega t, \\ I\ddot{\varphi} - c_1l_1(y - l_1\varphi) + c_2l_2(y + l_2\varphi) - c_zl_z(y_z - y - l_z\varphi) = 0, \\ m_z\ddot{y}_z + c_z(y_z - y - l_z\varphi) = 0. \end{cases} \quad (2.5)$$

При кинематическом возмущении:

$$\begin{cases} m\ddot{y} + c_1(y - l_1\varphi) + c_2(y + l_2\varphi) - c_z(y_z - y - l_z\varphi) = m\xi_0\omega^2 \sin \omega t, \\ I\ddot{\varphi} - c_1l_1(y - l_1\varphi) + c_2l_2(y + l_2\varphi) - c_zl_z(y_z - y - l_z\varphi) = 0, \\ m_z\ddot{y}_z + c_z(y_z - y - l_z\varphi) = 0. \end{cases} \quad (2.6)$$

2.2. Решение дифференциальных уравнений математической модели системы с гасителем

Рассмотрим решение дифференциальных уравнений для случая силового возмущения (действия при кинематическом возмущении аналогичны). Преобразуем уравнения (2.5):

$$\begin{cases} \ddot{y} + \frac{c_1 + c_2 + c_z}{m} y + \frac{c_2 l_2 - c_1 l_1 + c_z l_z}{m} \varphi - \frac{c_z}{m} y_z = \frac{P_0}{m} \sin \omega t, \\ \ddot{\varphi} + \frac{c_1 l_1^2 + c_2 l_2^2 + c_z l_z^2}{I} \varphi + \frac{c_2 l_2 - c_1 l_1 + c_z l_z}{I} y - \frac{c_z l_z}{I} y_z = 0, \\ \ddot{y}_z + \frac{c_z}{m_z} y_z - \frac{c_z}{m_z} y - \frac{c_z l_z}{m_z} \varphi = 0. \end{cases} \quad (2.7)$$

Для удобства дальнейших преобразований введем обозначения:

$$\begin{aligned} a_{11} &= \frac{c_1 + c_2 + c_z}{m}; \quad a_{12} = \frac{c_2 l_2 - c_1 l_1 + c_z l_z}{m}; \quad a_{13} = -\frac{c_z}{m}; \quad P_1 = \frac{P_0}{m}; \\ a_{21} &= \frac{c_1 l_1^2 + c_2 l_2^2 + c_z l_z^2}{I}; \quad a_{22} = \frac{c_2 l_2 - c_1 l_1 + c_z l_z}{I}; \quad a_{23} = -\frac{c_z l_z}{I}; \\ a_{31} &= \frac{c_z}{m_z}; \quad a_{32} = -\frac{c_z}{m_z}; \quad a_{33} = -\frac{c_z l_z}{m_z}. \end{aligned} \quad (2.8)$$

С учетом обозначений уравнения математической модели примут вид:

$$\begin{cases} \ddot{y} + a_{11} y + a_{12} \varphi + a_{13} y_z = P_1 \sin \omega t, \\ \ddot{\varphi} + a_{21} \varphi + a_{22} y + a_{23} y_z = 0, \\ \ddot{y}_z + a_{31} y_z + a_{32} y + a_{33} \varphi = 0. \end{cases} \quad (2.9)$$

Решения уравнений (2.9) будем искать в виде:

$$y = A_1 \sin \omega t; \quad \varphi = A_2 \sin \omega t; \quad y_z = A_3 \sin \omega t. \quad (2.10)$$

где A_1, A_2, A_3 – амплитуды колебаний.

Подставляя (2.10) в уравнения (2.9) получим следующую систему алгебраических уравнений для определения амплитуд A_1, A_2 и A_3 :

$$\begin{cases} (a_{11} - \omega^2) A_1 + a_{12} A_2 + a_{13} A_3 = P_1, \\ a_{21} A_1 + (a_{22} - \omega^2) A_2 + a_{23} A_3 = 0, \\ a_{31} A_1 + a_{32} A_2 + (a_{33} - \omega^2) A_3 = 0. \end{cases} \quad (2.11)$$

Решение системы уравнений (2.11):

$$A_i = \frac{\Delta_i}{\Delta}, \quad i = \overline{1,3}, \quad (2.12)$$

где Δ – определитель, составленный из коэффициентов системы, Δ_i – определитель, который получается из Δ путем замены i -го столбца правыми частями уравнений системы (2.11).

$$\begin{aligned}
\Delta &= \begin{vmatrix} a_{11}-\omega^2 & a_{12} & a_{13} \\ a_{22} & a_{21}-\omega^2 & a_{23} \\ a_{32} & a_{33} & a_{31}-\omega^2 \end{vmatrix}, \\
\Delta_1 &= \begin{vmatrix} P_1 & a_{12} & a_{13} \\ 0 & a_{21}-\omega^2 & a_{23} \\ 0 & a_{33} & a_{31}-\omega^2 \end{vmatrix}, \\
\Delta_2 &= \begin{vmatrix} a_{11}-\omega^2 & P_1 & a_{13} \\ a_{22} & 0 & a_{23} \\ a_{32} & 0 & a_{31}-\omega^2 \end{vmatrix}, \\
\Delta_3 &= \begin{vmatrix} a_{11}-\omega^2 & a_{12} & P_1 \\ a_{22} & a_{21}-\omega^2 & 0 \\ a_{32} & a_{33} & 0 \end{vmatrix}.
\end{aligned} \tag{2.13}$$

Вычислив определители, можно получить следующие выражения:

$$\begin{aligned}
\Delta &= (a_{11}-\omega^2)(a_{21}-\omega^2)(a_{31}-\omega^2) + a_{12}a_{23}a_{32} + a_{13}a_{22}a_{33} \\
&\quad - a_{13}a_{32}(a_{21}-\omega^2) - a_{12}a_{22}(a_{31}-\omega^2) - a_{23}a_{33}(a_{11}-\omega^2), \\
\Delta_1 &= P_1[(a_{21}-\omega^2)(a_{31}-\omega^2) - a_{23}a_{33}], \\
\Delta_2 &= P_1[a_{23}a_{33} - a_{22}(a_{31}-\omega^2)], \\
\Delta_3 &= P_1[a_{22}a_{33} - a_{32}(a_{21}-\omega^2)].
\end{aligned} \tag{2.14}$$

Подставив (2.14) в (2.12) получим формулы для определения амплитуд.

2.3. Определение параметров динамического гасителя

В полученных выражениях (2.14) неизвестными являются параметры гасителя l_g , c_g и m_g , входящие в коэффициенты a_{ij} , определяемые выражениями (2.8). Данные параметры можно найти исходя из того, какие колебания, линейные или угловые, должен останавливать гаситель. При расчете необходимо задать частоту ω_g на которой нужно остановить колебания (частоту настройки динамического гасителя).

Если гаситель должен останавливать линейные колебания по координате y , то амплитуда A_1 на заданной частоте ω_g должна быть равна нулю, то есть должен наблюдаться антирезонанс:

$$A_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = 0. \tag{2.15}$$

Это возможно при условии, что

$$\Delta_1 = 0, \quad (2.16)$$

или, с учетом (2.14):

$$\Delta_1 = P_1[(a_{21} - \omega^2)(a_{31} - \omega^2) - a_{33}a_{23}] = 0, \quad (2.17)$$

где $\omega = \omega_c$.

В выражение (2.17) необходимо подставить коэффициенты a_{ij} из (2.8), а затем, задавшись значениями l_c , m_c и ω_c , определить жесткость упругого элемента гасителя c_c .

В качестве настроечной частоты динамического гасителя ω_c можно выбрать частоту возмущения, совпадающую с собственной частотой объекта, так как в этом случае эффект динамического гашения проявляется наиболее сильно. Определив жесткость c_c из (2.17), можно с использованием выражений (2.12) построить амплитудно-частотные характеристики.

Например, для случая, представленного на *рис. 1.3*, можно выбрать настроечную частоту гасителя $\omega_c = k_1$. Тогда, построив амплитудно-частотные характеристики системы с гасителем и сравнив *рис. 1.3, а* и *рис. 2.2, а*, нетрудно заметить, что вместо резонанса, наблюдавшегося до установки гасителя, на частоте $\omega_c = k_1$ имеет место антирезонанс $A_1 = 0$ и колебания, соответствующие координате y , отсутствуют. При этом по обе стороны от настроечной частоты гасителя возникают резонансные частоты.

В случае если гаситель должен останавливать угловые колебания по координате φ , амплитуда A_2 на заданной частоте ω_c должна быть равна нулю:

$$A_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = 0. \quad (2.18)$$

Что достигается при условии:

$$\Delta_2 = P_1[a_{23}a_{33} - a_{22}(a_{31} - \omega^2)] = 0, \quad (2.19)$$

где $\omega = \omega_c$.

После подстановки в (2.19) коэффициентов a_{ij} из (2.8), задавшись значениями l_c , m_c и ω_c , можно определить жесткость упругого элемента гасителя c_c и построить амплитудно-частотные характеристики с использованием выражений (2.12).

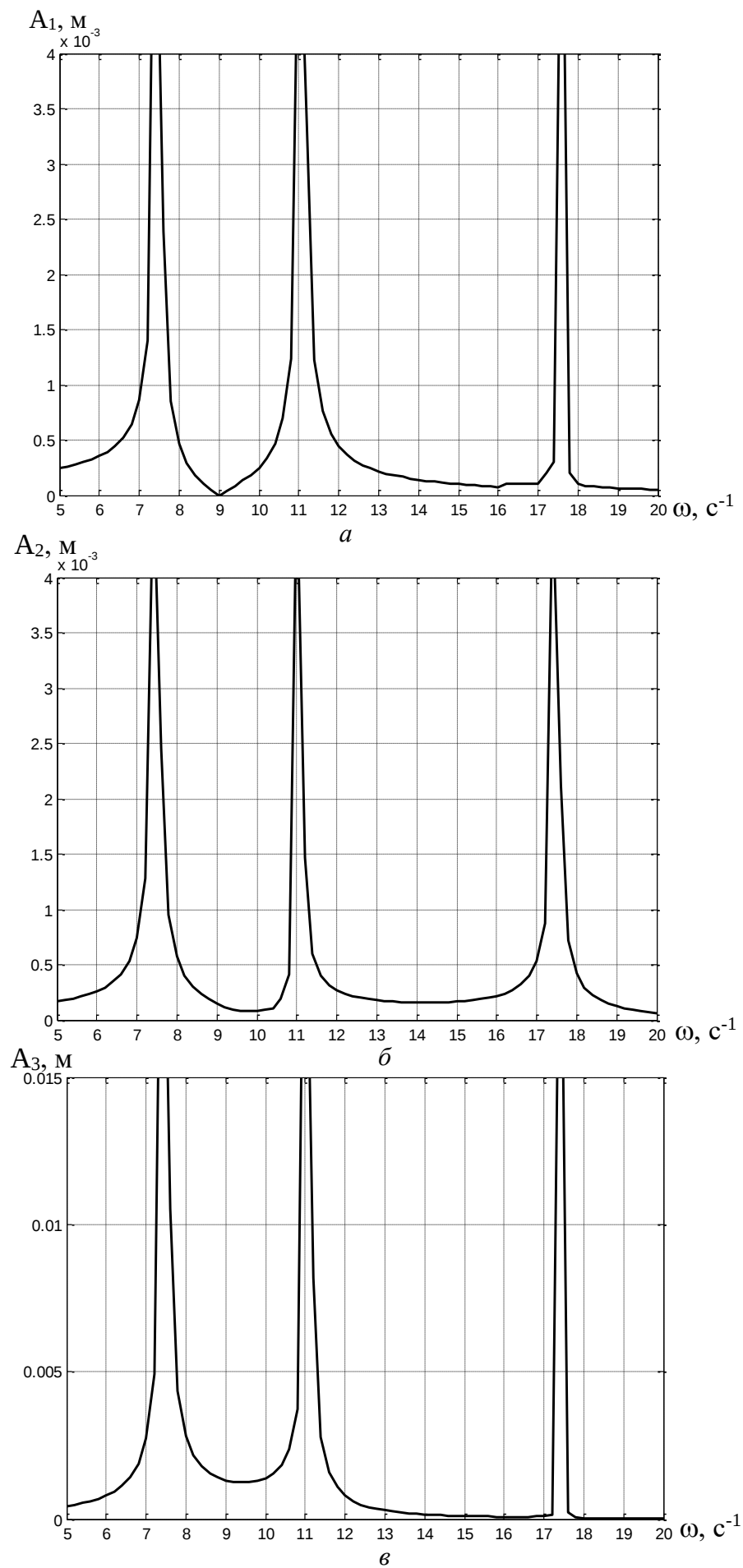


Рис. 2.2. Амплитудно-частотные характеристики объекта ($a, \bar{b}$) и гасителя (ϵ)

3 Статический расчет системы виброизоляции

Статический расчет системы виброизоляции заключается в вычислении статических реакций и статических деформаций виброизоляторов с целью их правильной установки под оборудованием. В ходе статического расчета необходимо выявить положение объекта, который установлен на упругом подвесе, образованном совокупностью виброизоляторов.

Рассмотрим объект массы m , установленный на виброизоляторах разной жесткости c_1 и c_2 (рис. 3.1, а). Под действием силы тяжести объект может занять положение, при котором он будет наклонен в какую-либо сторону (рис. 3.1, б), что недопустимо для реального оборудования и требует выравнивания объекта относительно фундамента с помощью вставок заранее определенного размера.

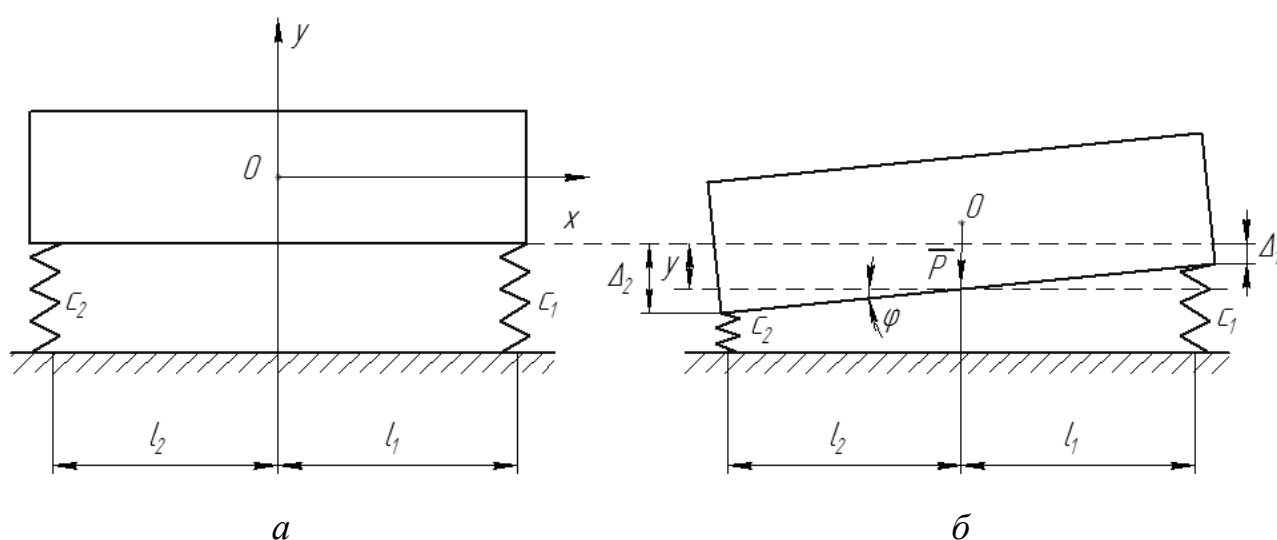


Рис. 3.1. Объект виброзащиты:

а – в установочном положении, б – в статическом положении

Введем неподвижную систему координат Oxy , проходящую через центр тяжести объекта в установочном положении (рис. 3.1, а). Под действием силы тяжести P , виброизоляторы жесткости c_1 и c_2 деформируются на величины Δ_1 и Δ_2 соответственно (рис. 3.1, б). При этом возникают реакции в опорах, определяемые выражениями:

$$R_1 = c_1 \Delta_1, R_2 = c_2 \Delta_2. \quad (3.1)$$

Деформации можно определить с учетом вертикального перемещения объекта на величину y и возможного поворота на малый угол φ (рис. 3.1, б):

$$\Delta_1 = y - l_1 \varphi, \Delta_2 = y + l_2 \varphi. \quad (3.2)$$

Для определения деформаций используем уравнения статического равновесия, представляющие собой сумму проекций действующих сил на ось y и сумму моментов сил, относительно точки O :

$$\begin{cases} R_1 + R_2 - P = 0, \\ R_1 l_1 - R_2 l_2 = 0. \end{cases} \quad (3.3)$$

Подставив в выражения (3.3) реакции (3.1) с учетом (3.2) после преобразований получим:

$$\begin{cases} (c_1 + c_2)y + (c_2 l_2 - c_1 l_1)\varphi = mg, \\ (c_1 l_1 - c_2 l_2)y - (c_1 l_1^2 + c_2 l_2^2)\varphi = 0. \end{cases} \quad (3.4)$$

Получили систему двух уравнений с двумя неизвестными y и φ , определив которые, можно найти деформации виброизоляторов по формулам (3.2), а затем, при необходимости, рассчитать величину вставки для выравнивания объекта.

Например, для случая, изображенного на *рис. 3.1* требуется компенсирующая прокладка под виброизолятор жесткости c_2 высотой $h = \Delta_2 - \Delta_1$ (см. *рис. 3.2*).

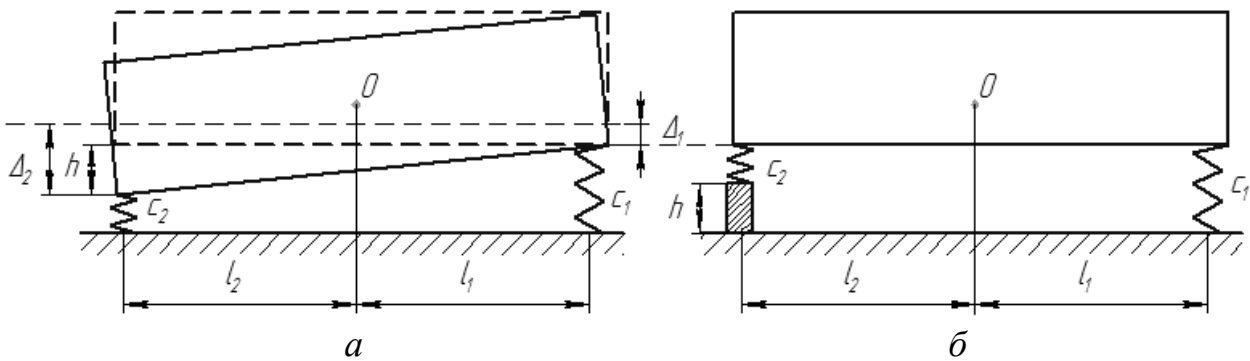


Рис. 3.2. Выравнивание объекта:

а – определение величины компенсирующей прокладки,
б – результат выравнивания

4. Порядок выполнения работы и требования к содержанию пояснительной записки

Курсовую работу необходимо выполнять в следующем порядке:

- 1) получить у преподавателя номер варианта задания и ознакомиться с содержанием задания (*приложение А*);
- 2) разработать математическую модель объекта, получить зависимости амплитуд колебаний от частоты и перемещений от времени;
- 3) написать программу для построения амплитудно-частотных характеристик, а также зависимостей перемещений объекта от времени;
- 4) построить амплитудно-частотные характеристики объекта с использованием ЭВМ и определить собственные частоты;
- 5) выбрать частоту настройки динамического гасителя;
- 6) построить зависимости перемещений объекта от времени на выбранной частоте;
- 7) разработать математическую модель системы с гасителем, получить зависимости амплитуд колебаний от частоты и перемещений от времени;
- 8) определить параметры динамического гасителя колебаний, останавливающего колебания объекта по заданной координате на выбранной частоте;
- 9) построить амплитудно-частотные характеристики системы с использованием ЭВМ и определить собственные частоты;
- 10) построить зависимости перемещений объекта от времени на частоте настройки гасителя;
- 11) выполнить статический расчет системы и рассчитать величину вставок для выравнивания объекта;
- 12) проанализировать полученные результаты.

Результаты работы представляются в отчете о выполнении курсовой работы (пояснительной записке), которую необходимо оформить согласно требованиям стандарта (*приложение Б*).

Пояснительная записка должна содержать:

- 1) титульный лист (*приложение В*);
- 2) задание на курсовой проект (*приложение Г*);
- 3) содержание;
- 4) введение;
- 5) основную часть, включающую в себя: вывод математических моделей системы с гасителем и без гасителя, результаты определения параметров гасителя, описание алгоритмического и программного обеспечения, амплитудно-частотные характеристики, зависимости перемещений от времени, статический расчет системы виброизоляции, схему выравнивания объекта, анализ результатов работы;
- 6) заключение;
- 7) список использованных источников
- 8) приложения (тексты программ для ЭВМ).

Библиографический список

1. Бабкина, Н. М. Методические указания по выполнению курсовых проектов (работ) по дисциплинам "Расчет и конструирование типовых узлов машин", "Динамика узлов и механизмов машин" / Н.М. Бабкина, И.М. Беспалова, Н.А. Гренишина, Л.С. Мазин, В.К. Поляков. – СПб.: СПГУТД, 2009. - 29 с.
2. Куликов И.С. Динамика механических систем: учебное пособие/ Куликов И.С., Маковкин Г.А.— Нижний Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2013.— 147 с.
3. Основные вопросы динамики: учебное пособие / В.И. Антонов и др. — М.: Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ, 2009.— 114 с.
4. Вульфсон, И.И. Колебания в машинах / И.И. Вульфсон. – 2-е изд. – СПб. : СПГУТД, 2008. – 260 с.

Приложение А

Варианты заданий

Имеется объект массы m , установленный на виброизоляторах жесткости c_i ($i = \overline{1, n}$), расположение виброизоляторов для каждого варианта задания определяется схемой, представленной на *рис. А.1*. Объект совершает колебания под действием силового $P(t) = P_0 \sin \omega t$ или кинематического $\xi(t) = \xi_0 \sin \omega t$ возмущения (см. вариант задания). Объект имеет две степени свободы, которые характеризуются вертикальными (y) и угловыми (φ) перемещениями.

Требуется:

- 1) составить математическую модель объекта;
- 2) определить собственные частоты колебаний;
- 3) построить амплитудно-частотные характеристики объекта;
- 4) выбрать частоту настройки динамического гасителя колебаний, совпадающую с одной из собственных частот объекта;
- 5) построить зависимости перемещений объекта от времени на выбранной частоте;
- 6) определить параметры динамического гасителя колебаний, с учетом того, что гаситель имеет сосредоточенную массу $m_2 = 0,1 \cdot m$, упругий элемент жесткости c_2 и установлен на расстоянии l_T от вертикальной оси, проходящей через центр масс объекта; гаситель имеет одну степень свободы (y_2) и должен останавливать линейные или угловые (см. вариант) колебания объекта;
- 7) построить амплитудно-частотные характеристики системы с гасителем;
- 8) определить собственные частоты системы с гасителем;
- 9) построить зависимости перемещений объекта и гасителя от времени на частоте настройки гасителя;
- 10) выполнить статический расчет системы виброизоляции;
- 11) определить величину компенсирующих прокладок для выравнивания объекта;
- 12) нарисовать схему выравнивания объекта виброзащиты с использованием компенсирующих прокладок.

Исходные данные для расчетов приведены в *табл. А.1*.

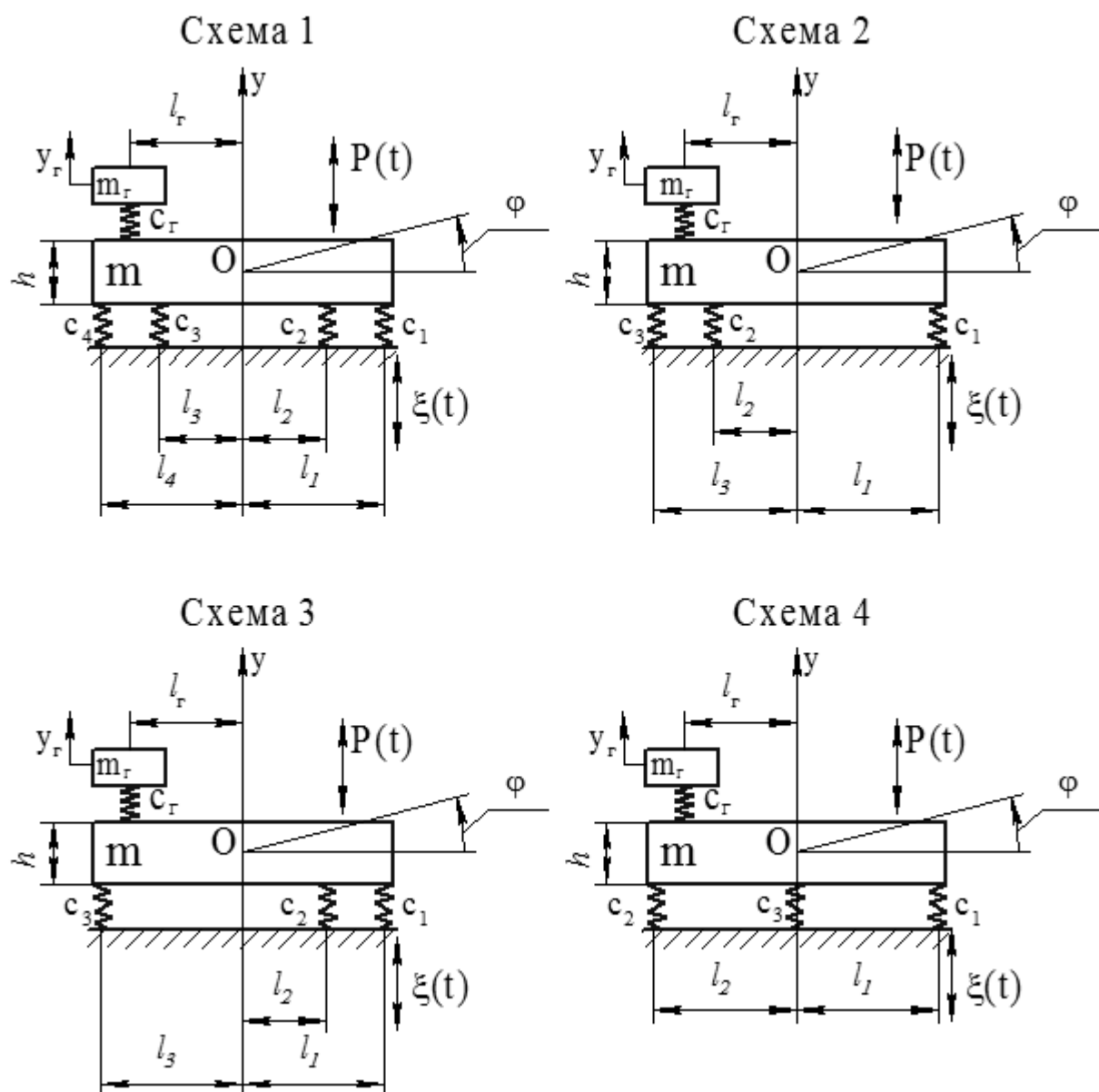


Рисунок А.1. Расчетные схемы

Таблица А.1. Варианты заданий

Вари- ант	Схе- ма	m, кг	c ₁ , Н/м	c ₂ , Н/м	c ₃ , Н/м	c ₄ , Н/м	l ₁ , м	l ₂ , м	l ₃ , м	l ₄ , м	h, м	P ₀ , Н	ξ ₀ , м	Гашение колебаний
1	1	500	4·10 ⁴	2·10 ⁴	2·10 ⁴	3·10 ⁴	0,8	0,4	0,5	0,8	0,7	7	0	линейных
2	2	700	4·10 ⁴	3·10 ⁴	2·10 ⁴	—	1	0,6	0,9	—	0,5	6	0	линейных
3	3	900	2·10 ⁴	10 ⁴	4·10 ⁴	—	0,5	0,3	0,7	—	0,6	8	0	линейных
4	4	400	2·10 ⁴	3·10 ⁴	4·10 ⁴	—	0,5	0,4	0	—	0,8	5	0	линейных
5	1	900	5·10 ⁴	2·10 ⁴	3·10 ⁴	4·10 ⁴	1,2	0,7	0,6	1,1	0,4	6	0	угловых
6	2	800	2·10 ⁴	4·10 ⁴	3·10 ⁴	—	0,8	0,3	0,7	—	0,6	7	0	угловых
7	3	600	3·10 ⁴	4·10 ⁴	2·10 ⁴	—	0,5	0,3	0,7	—	0,4	5	0	угловых
8	4	950	5·10 ⁴	3·10 ⁴	5·10 ⁴	—	0,9	0,9	0	—	0,9	8	0	угловых
9	1	980	4·10 ⁴	3·10 ⁴	2·10 ⁴	4·10 ⁴	0,9	0,5	0,6	1	0,8	0	0,01	линейных
10	2	750	5·10 ⁴	3·10 ⁴	4·10 ⁴	—	0,8	0,5	0,9	—	0,6	0	0,02	линейных
11	3	870	4·10 ⁴	2·10 ⁴	4·10 ⁴	—	1	0,5	0,9	—	0,5	0	0,03	линейных
12	4	780	2·10 ⁴	4·10 ⁴	4·10 ⁴	—	0,8	0,9	0	—	0,4	0	0,01	линейных
13	1	850	3·10 ⁴	2·10 ⁴	10 ⁴	3·10 ⁴	0,9	0,6	0,7	1	0,5	0	0,02	угловых
14	2	550	4·10 ⁴	3·10 ⁴	10 ⁴	—	0,9	0,4	0,8	—	0,6	0	0,03	угловых
15	3	980	10 ⁴	2·10 ⁴	10 ⁴	—	0,7	0,4	0,6	—	0,6	0	0,01	угловых

Приложение Б

Правила оформления пояснительной записки

1 Общие требования к оформлению текстовой части пояснительной записки

1.1 Изложение текста и оформление пояснительной записки выполняют в соответствии с требованиями ГОСТ 7.32-2001, ГОСТ 2.105-95 и ГОСТ 6.38-90. Страницы пояснительной записки и включенные в нее иллюстрации и таблицы должны соответствовать формату А4 по ГОСТ 9327-60.

1.2 Пояснительная записка должна быть выполнена любым печатным способом на пишущей машинке или с использованием компьютера и принтера на одной стороне бумаги формата А4 через полтора интервала, выравнивание текста по ширине. Цвет шрифта должен быть черным, высота букв, цифр и других знаков **не менее 1,8 (кегель 14)**. Шрифт Times New Roman.

Текст пояснительной записки следует печатать, соблюдая следующие размеры полей: **правое – 10 мм, верхнее – 20 мм, левое и нижнее – 20 мм.**

Разрешается использовать компьютерные возможности акцентирования внимания на определенных терминах, формулах, применяя шрифты разной гарнитуры.

1.3 Вне зависимости от способа выполнения пояснительной записки качество напечатанного текста и оформления иллюстраций, таблиц, распечаток с ПЭВМ должно удовлетворять требованию их четкого воспроизведения.

1.4 При выполнении пояснительной записки необходимо соблюдать равномерную плотность, контрастность и четкость изображения, не расплывшиеся линии, буквы, цифры и знаки.

1.5 Опечатки, опiski и графические неточности, обнаруженные в процессе подготовки пояснительной записки, допускается исправлять подчисткой или закрашиванием белой краской и нанесением на том же месте исправленного текста (графики) машинописным способом или черными чернилами, пастой или тушью – рукописным способом. Повреждения листов текстовых документов, помарки и следы не полностью удаленного прежнего текста (графики) не допускаются. После внесения исправлений документ должен удовлетворять требованиям микрофильмирования, установленным ГОСТ 13.1.002.

1.6 Фамилии, названия учреждений, организаций, фирм, названия изделий и другие имена собственные в пояснительной записке приводят на языке оригинала. Допускается транслитеровать имена собственные и приводить названия организаций в переводе на язык пояснительной записки с добавлением (при первом упоминании) оригинального названия. Сокращения русских слов и словосочетаний в пояснительной записке – по ГОСТ 7.12.

2 Построение пояснительной записки

2.1 Наименование структурных элементов пояснительной записки «Список исполнителей», «Реферат», «Содержание», «Нормативные ссылки», «Определения», «Обозначения и сокращения», «Введение», «Заключение», «Список использованных источников» служат заголовками структурных элементов пояснительной записки.

2.2 Основную часть пояснительной записки следует делить на разделы, подразделы и пункты. Пункты могут делиться на подпункты. При делении текста на пункты и подпункты необходимо, чтобы каждый пункт содержал законченную информацию.

2.3 Разделы, подразделы, пункты и подпункты следует нумеровать арабскими цифрами и записывать с абзацного отступа.

Разделы должны иметь порядковую нумерацию в пределах всего текста, за исключением приложений.

Пример – 1, 2, 3 и т. д.

Номер подраздела или пункта включает номер раздела и порядковый номер подраздела или пункта, разделенные точкой.

Пример – 1.1, 1.2, 1.3 и т. д.

Номер подпункта включает номер раздела, подраздела и порядковый номер подпункта, разделенные точкой.

Пример – 1.1.1, 1.1.1.2, 1.1.1.3 и т. д.

После номера раздела, подраздела, пункта и подпункта точку не ставят.

Если текст пояснительной записки подразделяют только на пункты, их следует нумеровать, за исключением приложений, порядковыми номерами в пределах всей пояснительной записки.

Если раздел или подраздел имеет только один пункт или пункт имеет один подпункт, то нумеровать его не следует.

2.4 Разделы, подразделы должны иметь заголовки. Пункты, как правило, заголовков не имеют. Заголовки должны четко и кратко отражать содержание разделов, подразделов.

2.5 Заголовки разделов, подразделов и пунктов следует печатать с абзацного отступа с прописной буквы без точки в конце, не подчеркивая. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой.

3 Нумерация страниц пояснительной записки

3.1 Страницы пояснительной записки следует нумеровать арабскими цифрами, соблюдая сквозную нумерацию по всему тексту пояснительной записки. Номер страницы проставляют в центре нижней части листа без точки.

3.2 Титульный лист включают в общую нумерацию страниц пояснительной записки. Номер страницы на титульном листе не проставляют.

3.3 Иллюстрации и таблицы, расположенные на отдельных листах, включают в общую нумерацию страниц пояснительной записки. Иллюстрации и таблицы на листе формата А3 учитывают, как одну страницу.

4 Нумерация разделов, подразделов, пунктов, подпунктов пояснительной записки

4.1 Если пояснительная записка состоит из двух или более частей, каждая часть должна иметь свой порядковый номер. Номер каждой части следует проставлять арабскими цифрами на титульном листе под указанием вида пояснительной записки, например, «Часть 2».

4.2 Каждый структурный элемент пояснительной записки следует начинать с нового листа (страницы).

4.3 Нумерация страниц пояснительной записки и приложений, входящих в состав пояснительной записки, должна быть сквозная.

4.4 Разделы пояснительной записки должны иметь порядковые номера в пределах всего документа, обозначенные арабскими цифрами без точки и записанные с абзачного отступа. Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой. В конце номера подраздела точка не ставится. Разделы, как и подразделы, могут состоять из одного или нескольких пунктов.

4.5 В документе, не имеющем подразделов, нумерация пунктов должна быть в пределах каждого раздела и номер пункта должен состоять из номеров раздела и пункта, разделенных точкой. После номера пункта точка не ставится.

Пример

1 Типы и основные размеры

1.1 }
1.2 } ***Нумерация пунктов первого раздела документа***
1.3 }

2 Технические требования

2.1 }
2.2 } ***Нумерация пунктов второго раздела документа***
2.3 }

Если документ имеет подразделы, то нумерация пунктов должна быть в пределах подраздела и номер пункта должен состоять из номеров раздела, подраздела и пункта, разделенных точками, например:

3 Методы испытаний

3.1 Аппараты, материалы и реактивы

3.1.1 }
3.1.2 } ***Нумерация пунктов первого подраздела третьего раздела***
3.1.3 }

документа

3.2 Подготовка к испытанию

3.2.1 }
3.2.2 } ***Нумерация пунктов второго подраздела третьего раздела***
3.2.3 }

документа

4.6 Если раздел состоит из одного подраздела, то подраздел не нумеруется. Наличие одного подраздела в разделе эквивалентно их фактическому отсутствию.

4.7 Если текст пояснительной записки подразделяется только на пункты, то они нумеруются порядковыми номерами в пределах всей пояснительной записки.

4.8 Пункты при необходимости могут быть разбиты на подпункты, которые должны иметь порядковую нумерацию в пределах каждого пункта, например: 4.2.1.1, 4.2.1.2, 4.2.1.3 и т. д.

4.9 Внутри пунктов или подпунктов могут быть приведены перечисления.

Перед каждым перечислением следует ставить дефис или, при необходимости ссылки в тексте документа на одно из перечислений, строчную букву (за исключением ё, з, о, г, ы, ь, й), после которой ставится скобка.

Для дальнейшей детализации перечислений необходимо использовать арабские цифры, после которых ставится скобка, а запись производится с абзацного отступа, как показано в примере.

Пример:

а) _____
б) _____
 1) _____
 2) _____
в) _____

5 Иллюстрации

5.1 Иллюстрации (чертежи, графики, схемы, компьютерные распечатки, диаграммы, фотоснимки) следует располагать в пояснительной записке непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые, или на следующей странице. Иллюстрации могут быть в компьютерном исполнении, в том числе и цветные.

На все иллюстрации должны быть даны ссылки в пояснительной записке.

5.2 Чертежи, графики, диаграммы, схемы, иллюстрации, помещаемые в пояснительной записке, должны соответствовать требованиям государственных стандартов Единой системы конструкторской документации (ЕСКД).

Допускается выполнение чертежей, графиков, диаграмм, схем посредством использования компьютерной печати.

5.3 Фотоснимки размером меньше формата А4 должны быть наклеены на стандартные листы белой бумаги.

5.4 Иллюстрации, за исключением иллюстраций приложений, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией.

Если рисунок один, то он обозначается «Рисунок 1». Слово «рисунок» и его наименование располагают посередине строки.

5.5 Допускается нумеровать иллюстрации в пределах раздела. В этом случае номер иллюстрации состоит из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой. Например, Рисунок 1.1.

5.6 При необходимости иллюстрации могут иметь наименование и пояснительные данные (подрисуночный текст). Слово «Рисунок» и наименование помещают после пояснительных данных и располагают следующим образом: Рисунок 1 – Детали прибора.

5.7 Иллюстрации каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения. Например, Рисунок А.3.

5.8 При ссылках на иллюстрации следует писать «...в соответствии с рисунком 2» при сквозной нумерации и «...в соответствии с рисунком 1.2» при нумерации в пределах раздела.

6 Таблицы

6.1 Таблицы применяют для лучшей наглядности и удобства сравнения показателей. Название таблицы, при его наличии, должно отражать ее содержание, быть точным и кратким. Название таблицы следует помещать над таблицей слева, без абзацного отступа в одну строку с ее номером через тире.

6.2 Таблицу следует располагать в пояснительной записке непосредственно после текста, в котором она упоминается впервые, или на следующей странице.

6.3 На все таблицы должны быть ссылки в пояснительной записке. При ссылке следует писать слово «таблица» с указанием ее номера.

6.4 Таблицу с большим количеством строк допускается переносить на другой лист (страницу). При переносе части таблицы на другой лист (страницу) слово «Таблица», ее номер и название указывают один раз слева над первой частью таблицы, над другими частями пишут слово «Продолжение» и указывают номер таблицы, например: «Продолжение таблицы 1».

Таблицу с большим количеством граф допускается делить на части и помещать одну часть под другой в пределах одной страницы. Если строки и графы таблицы выходят за формат страницы, то в первом случае в каждой части таблицы повторяется головка, во втором случае – боковик.

Если повторяющийся в разных строках графы таблицы текст состоит из одного слова, то его после первого написания допускается заменять кавычками; если из двух и более слов, то при первом повторении его заменяют словами «То же», а далее – кавычками. Ставить кавычки вместо повторяющихся цифр, марок, знаков, математических и химических символов не допускается. Если цифровые или иные данные в какой-либо строке таблицы не приводят, в ней ставят прочерк.

6.5 Таблицы, за исключением таблиц приложений, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Допускается нумеровать таблицы в

Если в документе одна таблица, то она должна быть обозначена «Таблица 1» или «Таблица В.1», если она приведена в приложении В.

6.6 Пример оформления таблицы приведен на рисунке 1.

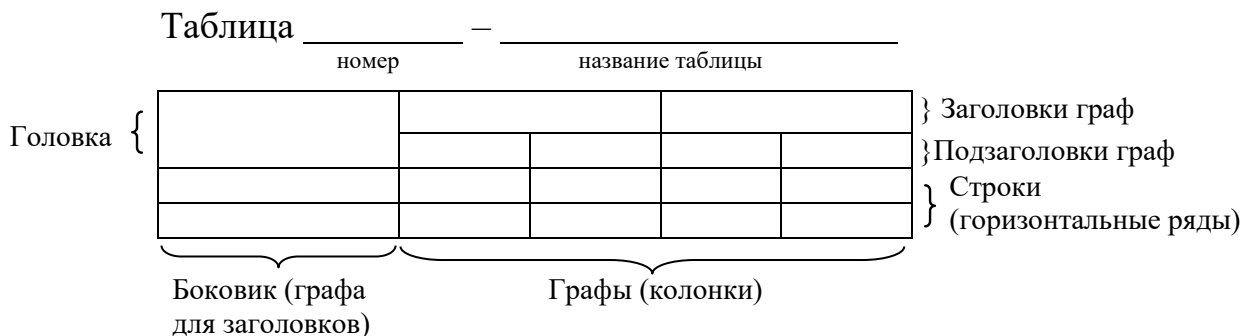


Рисунок 1

6.7 Заголовки граф и строк таблицы следует писать с прописной буквы в единственном числе, а подзаголовки граф – со строчной буквы, если они составляют одно предложение с заголовком, или с прописной буквы, если они имеют самостоятельное значение. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставят.

6.8 Таблицы слева, справа и снизу, как правило, ограничивают линиями. Допускается применять размер шрифта в таблице меньший, чем в тексте.

Разделять заголовки и подзаголовки боковика и граф диагональными линиями не допускается. Горизонтальные и вертикальные линии, разграничивающие строки таблицы, допускается не проводить, если их отсутствие не затрудняет пользование таблицей.

Заголовки граф, как правило, записывают параллельно строкам таблицы. При необходимости допускается перпендикулярное расположение заголовков граф. Головка таблицы должна быть отделена линией от остальной части таблицы.

При переносе части таблицы на другой лист (страницу) нижнюю горизонтальную черту, ограничивающую таблицу, не проводят.

6.9 Оформление таблиц в пояснительной записке должно соответствовать ГОСТ 1.5 и ГОСТ 2.105.

7 Примечания

7.1 Слово «Примечание» следует печатать с прописной буквы с абзаца и не подчеркивать.

7.2 Примечания приводят в документах, если необходимы пояснения или справочные данные к содержанию текста, таблиц или графического материала.

Примечания не должны содержать требований.

7.3 Примечания следует помещать непосредственно после текстового, графического материала или в таблице, к которым относятся эти примечания. Если примечание одно, то после слова «Примечание» ставится тире и примечание печатается с прописной буквы. Одно примечание не нумеруют. Несколько примечаний нумеруют по порядку арабскими цифрами без проставления точки. Примечание к таблице помещают в конце таблицы над линией, обозначающей окончание таблицы.

Пример

Примечание – _____

Несколько примечаний нумеруются по порядку арабскими цифрами.

Пример

Примечания

- 1 _____
- 2 _____
- 3 _____

8 Формулы и уравнения

8.1 Уравнения и формулы следует выделять из текста в отдельную строку. Выше и ниже каждой формулы или уравнения должно быть оставлено не менее одной свободной строки. Если уравнение не умещается в одну строку, то оно должно быть перенесено после знака равенства (=) или после знаков плюс (+), минус (–), умножения (х), деления (:), или других математических знаков, причем знак в начале следующей строки повторяют. При переносе формулы на знаке, символизирующем операцию умножения, применяют знак «х».

8.2 Пояснение значений символов и числовых коэффициентов следует приводить непосредственно под формулой в той же последовательности, в которой они даны в формуле.

8.3 Формулы в пояснительной записке следует нумеровать порядковой нумерацией в пределах пояснительной записки арабскими цифрами в круглых скобках в крайнем правом положении на строке.

Пример

$$A=a:b, \tag{1}$$

$$B=c:e. \tag{2}$$

Одну формулу обозначают – **(1)**.

8.4 Формулы, помещаемые в приложениях, должны нумероваться отдельной нумерацией арабскими цифрами в пределах каждого приложения с добавлением перед каждой цифрой обозначения приложения, например формула (B.1).

8.5 Ссылки в тексте на порядковые номера формул дают в скобках. Пример – ... в формуле (1).

8.6 Допускается нумерация формул в пределах раздела. В этом случае номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы, разделенных точкой, например (3.1).

8.7 Порядок изложения в пояснительной записке математических уравнений такой же, как и формул.

8.8 В пояснительной записке допускается выполнение формул и уравнений рукописным способом черными чернилами.

9 Ссылки

9.1 В пояснительной записке допускаются ссылки на данный документ, стандарты, технические условия и другие документы при условии, что они полностью и однозначно определяют соответствующие требования и не вызывают затруднений в пользовании документом

9.2 Ссылаться следует на документ в целом или его разделы и приложения. Ссылки на подразделы, пункты, таблицы и иллюстрации не допускаются, за исключением подразделов, пунктов, таблиц и иллюстраций данного документа.

9.3 При ссылках на стандарты и технические условия указывают только их обозначение, при этом допускается не указывать год их утверждения при условии полного описания стандарта в списке использованных источников в соответствии с ГОСТ 7.1-84.

9.4 Ссылки на использованные источники следует приводить в квадратных скобках.

10 Список использованных источников

Сведения об источниках следует располагать в порядке появления ссылок на источники в тексте пояснительной записки, нумеровать арабскими цифрами без точки и печатать с абзацного отступа.

11 Приложения

11.1 Приложение оформляют как продолжение данного документа на последующих его листах или выпускают в виде самостоятельного документа.

11.2 В тексте документа на все приложения должны быть даны ссылки. Приложения располагают в порядке ссылок на них в тексте документа.

11.3 Каждое приложение следует начинать с новой страницы с указанием наверху посередине страницы слова «Приложение», его обозначения и степени.

Приложение должно иметь заголовок, который записывают симметрично относительно текста с прописной буквы отдельной строкой.

11.4 Приложения обозначают заглавными буквами русского алфавита, начиная с А, за исключением букв Ё, З, Й, О, Ч, Ь, Ы, Ъ. После слова «Приложение» следует буква, обозначающая его последовательность.

Допускается обозначение приложений буквами латинского алфавита, за исключением букв I и O.

В случае полного использования букв русского и латинского алфавитов допускается обозначать приложения арабскими цифрами.

Если в документе одно приложение, оно обозначается «Приложение А».

11.5 При необходимости текст каждого приложения может быть разделен на разделы, подразделы, пункты, подпункты, которые нумеруют в пределах каждого приложения. Перед номером ставится обозначение этого приложения.

11.6 Приложения должны иметь общую с остальной частью документа сквозную нумерацию страниц.

11.7 Приложениям или частям, выпущенным в виде самостоятельного документа, обозначение присваивают как части документа с указанием в коде документа ее порядкового номера.

Приложение В

Титульный лист пояснительной записки

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Санкт-Петербургский государственный университет промышленных
технологий и дизайна»

Факультет Информационных технологий и машиноведения

Направление подготовки 15.03.02 – Технологические машины и
оборудование

Профиль Информационные технологии в производствах и сервисе
технологических машин

Кафедра Машиноведения

КУРСОВАЯ РАБОТА

(пояснительная записка)

по курсу _____

на тему _____

Исполнитель – студент уч. группы _____

(Фамилия, И., О., подпись)

Руководитель _____

(Ученая степень, звание, Фамилия, И., О., подпись)

Оценка _____

Санкт-Петербург

20__ г.

Приложение Г

Бланк задания на курсовую работу (двухсторонний)

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«Санкт-Петербургский государственный университет промышленных
технологий и дизайна»

Кафедра машиноведения

ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ (РАБОТУ)

Студенту _____

группы _____

Тема проекта (работы) _____

Содержание задания

Задача проекта (работы) _____

Исходные данные:

а) технологические параметры: _____

б) конструктивные параметры: _____

в) особые условия: _____

г) объем проекта (работы): _____

Пособия и рекомендуемые материалы: _____

Дата выдачи задания: _____

Сроки выполнения задания: _____

Подготовительный этап (срок): _____

Пояснительная записка (количество листов и содержание) _____

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей) _____

Руководитель