

вижного 1 и неподвижного 2 оснований и размещенных между ними вертикальной пружины сжатия 3 и корректора жесткости. Последний выполнен в виде стянутых пружинами растяжения 6 роликов 4 и шатунов 5. Подвижное основание жестко связывается с виброактивным оборудованием (таким может быть, например, вибро-грохот), а неподвижное основание устанавливается на фундамент (рабочую площадку), представляющую собой защищаемый объект. На подвижное основание 1 со стороны виброактивного оборудования действует вертикальная составляющая усилия, под действием которой основание 1 начинает перемещаться, деформируя пружину сжатия 3, сила упругости которой будет увеличиваться по линейному закону. При этом усилие через шатун 5 корректора будет передаваться пружине 6, сила упругости которой линейно растет в горизонтальном направлении. Однако вертикальная составляющая этого усилия, передающаяся через шатун 5, будет уменьшаться с уменьшением его угла наклона. Тем самым обеспечивается почти постоянное силовое воздействие на неподвижное основание.

Докажем это, рассмотрев статический расчет ВЗУ.

Введем следующие обозначения: l_3 – длина шатуна; l_{10} , l_{20} – длина в свободном состоянии соответственно пружин сжатия и растяжения; c_1 , c_2 – коэффициенты жесткости вертикальной и горизонтальной пружин; Δ_1 , Δ_2 – деформации вертикальной и горизонтальной пружин (отсчет ведется от точки, когда $l_{10} - \Delta_{10} = l_3$); $q = \frac{l_{10}}{l_3}$ – безразмерный конструктивный ко-

эффициент, может принимать значения: $q \geq 1$; $S = \frac{l_{20}}{a}$ – безразмерный

конструктивный параметр, характеризующий положение подвижного конца пружины растяжения, может быть $S \geq 1$ и $S < 1$. Δ_{1H} , Δ_{2H} – монтажная деформация соответственно вертикальной и горизонтальной пружины; φ_H – угол наклона шатуна в момент сборки ВЗУ под действием некоторой первоначальной нагрузки P_H , которую назовем пороговой; φ – угол наклона шатуна, соответствующий деформации вертикальной пружины под действием рабочей нагрузки P .

Рабочая нагрузка P всегда больше пороговой P_H , а угол φ соответственно меньше φ_H .

Рассмотрим наиболее простой конструктивный вариант плоского модуля ВЗУ, когда $q = 1$ и $S = 1$.

Исходя из условия статического равновесия звена 1 (колеблющегося объекта) получим следующее уравнение:

$$P = S_1 + S_2 \tan \varphi, \quad (1)$$

где P – некоторая сила, действующая на объект 1;

$S_1 = c_1 \Delta_1$ – сила упругости вертикальной пружины, соответствующая рабочей деформации пружины (перемещению звена один);

$S_2 \Delta_2$ – аналогичная сила упругости горизонтальной пружины.

Тогда $P = c_1 \Delta_1 + c_2 \Delta_2 \tan \varphi$.

Из рис. 1 легко установить следующую зависимость между линейными и угловыми параметрами

$$\Delta_1 = l_{10} - l_3 \sin \varphi = l_3 (q - \sin \varphi) = l_3 (1 - \sin \varphi);$$

$$\Delta_2 = l_3 \cos \varphi.$$

С учетом этих зависимостей уравнение (1) будет иметь вид

$$P = c_1 l_3 (1 - \sin \varphi) + c_2 l_3 \sin \varphi = c_1 l_3 (1 - \sin \varphi + \frac{c_2}{c_1} l_3 \sin \varphi).$$

Введем понятие относительного коэффициента жесткости $\gamma = \frac{c_2}{c_1}$. Тогда

$$P = c_1 l_3 [1 + (\gamma - 1) \sin \varphi]. \quad (2)$$

Из уравнения (2) видно, что в случае, когда коэффициенты жесткости вертикальной и горизонтальной пружин равны $c_1 = c_2$, т.е. $\gamma = 1$, получим уравнение:

$$P = c_1 l_3 = \text{const}. \quad (3)$$

Определим зависимости между деформациями горизонтальной и вертикальной пружин, которые обозначим соответственно Δ_1 и Δ_2 (рис.1)

$$AB = \Delta_2 + l_{20} - a = \sqrt{l_2^2 - (l_2 - \Delta_2)^2}$$

Откуда

$$\Delta_2 = \sqrt{l_2^2 - (l_2 - \Delta_1)^2} - l_{20} + a = l_2 \left[\sqrt{1 - \left(q - \frac{\Delta_1}{l_2} \right)^2} - \frac{l_{20}}{l_2} + \frac{a}{l_2} \right].$$

Обозначим:

$\delta = \frac{\Delta_1}{l_2}$ – относительное смещение колеблющегося объекта,

$\psi = \frac{a}{l_2}$ – безразмерный конструктивный параметр.

С учетом этих и ранее введенных обозначений

$$\Delta_2 = l_2 \left[\sqrt{1 - (q - \delta)^2} + \psi(1 - S) \right]. \quad (4)$$

$$\tan \varphi = \frac{q - \delta}{\sqrt{1 - (q - \delta)^2}}. \quad (5)$$

Подставив выражения (4) и (5) в уравнение (2), получим

$$P = c_1 \Delta_1 + c_2 l_2 \left[\sqrt{1 - (q - \delta)^2} + \psi(1 - S) \right] \frac{q - \delta}{\sqrt{1 - (q - \delta)^2}} \quad (6)$$

Используя отношение коэффициентов жесткости γ , введя понятие безразмерного силового коэффициента $p_0 = \frac{c_1 l_2}{P_H}$ и коэффициента нагрузки

$k = \frac{P}{P_H}$, получим уравнение (6) в безразмерной форме

$$k = p_0 \left\{ \delta + \gamma(q - \delta) \left[1 + \frac{\psi(1 - S)}{\sqrt{1 - (q - \delta)^2}} \right] \right\}. \quad (7)$$

Из уравнения (7) следует, что значения коэффициента k зависят от соответствующего выбора конструктивных безразмерных параметров q , Ψ , S , относительной жесткости устройства γ и коэффициента p_0 . Уравнение (7) справедливо для сочетаний значений конструктивных параметров $q \geq 1$, $S \geq 1$ и $S < 1$.

Для случая, когда $S = 1$, уравнение (7) примет вид

$$k = p_0 [\delta + \gamma(q - \delta)] = p_0 [\gamma q \delta (1 - \gamma)] \quad (8)$$

В частном случае, когда $S = 1$ и коэффициенты жесткости горизонтальной и вертикальной пружин равны, т.е. $\gamma = 1$, коэффициент нагрузки не зависит от перемещения колеблющегося объекта и равен $k = p_0 q = const$. То есть мы имеем систему нулевой жесткости. Этот вариант для практического использования ВЗУ не подходит, так как система будет неустойчивой. Для значений безразмерных параметров, выбираемых из следующих интервалов:

$$\gamma = 0,8 \dots 1,2; \quad q = 0,8 \dots 1; \quad S = 1,5 \dots 2; \quad \psi = 0,3 \dots 0,6$$

-можно получить силовую характеристику ВЗУ квазинулевой жесткости для некоторой области изменения $\delta = 0,2 \dots 0,4$ (интервал AB , рис 2). При этом значения безразмерного силового коэффициента p_0 на характере изменения кривых не отражаются.

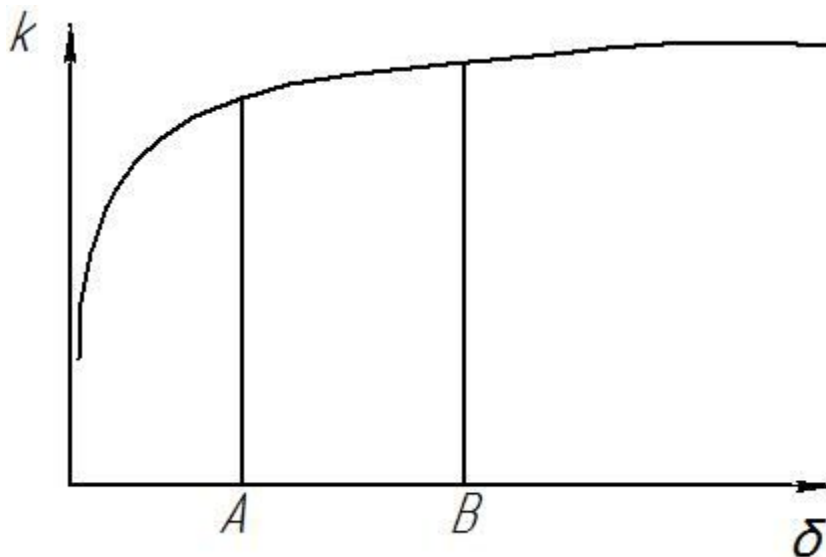


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента нагрузки k от δ

При значениях конструктивных параметров устройства равных: $\gamma = 1,2$; $q = 1$; $S = 3$ и $\psi = 0,455$ в интервале изменения $0 < \varphi < 40^\circ$ график коэффициента нагрузки представляет собой почти горизонтальную прямую, то есть жесткость ВЗУ будет близкой к нулевой. Ограничение интервала значений безразмерного коэффициента нагрузки зависит от условий эксплуатации ВЗУ и должно быть согласовано с санитарными нормами в случае работы человека-оператора, обслуживающего данное оборудование.

Выводы. В результате проведенных расчетов определена возможность получения конструктивных параметров виброзащитного устройства, которые смогут обеспечить практически постоянную нагрузку на защищаемый объект.

Список литературы: 1. П.М. Кондрахин, В.Г. Пархоменко, В.П. Стойко и Э.Л. Гордиенко. Виброзащитное устройство. А.С.№1059320 от 08.04.1988г.