

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИВЕДЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ И ЧАСТОТЫ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ МОДУЛЯ ВИБРОЗАЩИТНОГО УСТРОЙСТВА С НАКЛОННЫМИ ПРУЖИНАМИ СЖАТИЯ

Коваль Н.С\* (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

В транспортных и землеройных машинах актуальной является проблема борьбы с вибрациями рабочих мест операторов этих машин. Без применения виброзащитных устройств уровни вибраций в кабинах машинистов таких машин в большинстве случаев превышают значения, допустимые по санитарно-гигиеническим нормам.

Для защиты кресел машинистов и пультов управления от разнонаправленных вибраций разработано виброзащитное устройство (ВЗУ), состоящее из набора модулей с наклонными цилиндрическими пружинами сжатия [1].

Проведенными исследованиями выявлены рациональные параметры модуля, при которых ВЗУ приводит к значительному снижению вибраций защищаемого объекта. Однако и при наличии рациональных параметров модуль ВЗУ все же не обеспечивает полной изоляции защищаемого объекта от вертикальных вибраций. Для исследования поведения защищаемого объекта при вертикальном кинематическом возбуждении основания необходимо знать приведенную жесткость модуля и частоту собственных вертикальных колебаний защищаемого объекта.

Модуль ВЗУ представляет собой нелинейную систему, приведенный коэффициент жесткости которой  $C_{пр}$  изменяется в процессе колебаний основания.

Предполагаем, что основание модуля совершает колебания по некоторому закону  $y_2(t)$ , перемещение защищаемого объекта происходит по закону  $y_1(t)$  – рис. 1. Относительное перемещение защищаемого объекта есть разность  $(y_1 - y_2)$ .

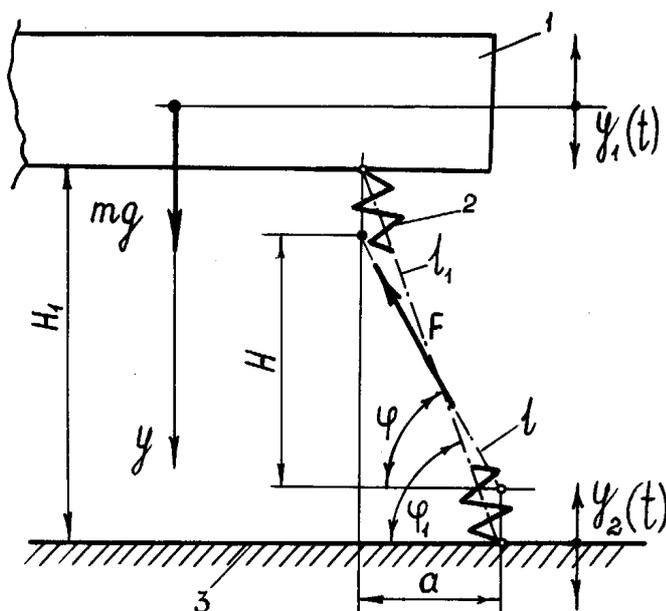


Рисунок 1 – Схема к динамическому расчету модуля ВЗУ  
1 – защищаемый объект; 2 – пружина сжатия; 3 – колеблющееся основание

\* Под руководством доц. Гордиенко Э.Л.

Вертикальная проекция силы упругости пружины при перемещении объекта и основания

$$F_g = F \sin \varphi = c(l_0 - l) \sin \varphi = cl_0 \sin \varphi - ca \cdot \tan \varphi,$$

где  $c$  – коэффициент жесткости пружины,

$l_0$  – длина пружины в ненагруженном состоянии,

$(l_0 - l)$  – осадка пружины при относительном перемещении объекта и основания,

$a = l \cos \varphi$  – горизонтальная проекция длины пружины,

$\varphi$  – текущее значение угла наклона пружины.

Вертикальное расстояние между точками крепления пружин

$$H = a \tan \varphi.$$

Приведенный коэффициент жесткости модуля, отнесенный к одной пружине

$$C_{np} = \frac{dF_g}{dH} = \frac{\left( cl_0 \cos \varphi - ca \frac{1}{\cos^2 \varphi} \right) d\varphi}{-\frac{a}{\cos^2 \varphi} d\varphi} = c \left( 1 - \frac{l_0}{a} \cos^3 \varphi \right).$$

Здесь  $dH$  имеет знак «-», т.к. с ростом  $F_g$  расстояние  $H$  уменьшается.

Если обозначить  $\frac{l_0}{a} = q$ , то

$$C_{np} = c \left( 1 - q \cos^3 \varphi \right).$$

Из рис. 1 следует

$$\cos \varphi = \frac{a}{l} = \frac{a}{\sqrt{H^2 + a^2}} = \frac{a}{\sqrt{[atg\varphi_1 - (y_1 - y_2)]^2 + a^2}} = \frac{1}{\sqrt{(\tan \varphi_1 - r_{отн})^2 + 1}},$$

где  $r_{отн} = \frac{y_1 - y_2}{a}$ .

Относительная приведенная жесткость модуля ВЗУ:

$$\frac{C_{np}}{C} = 1 - \frac{q}{\left( \sqrt{(\tan \varphi_1 - r_{отн})^2 + 1} \right)^3}.$$

На рис. 2 представлены графики зависимости относительной приведенной жесткости от уровня относительного перемещения защищаемого объекта  $r_{отн}$  для экспериментального образца модуля ВЗУ, имеющего следующие параметры: коэффициент жесткости пружины  $c = 100 \frac{H}{см}$ , длина пружины в свободном состоянии

$l_0 = 105$  мм, диаметр проволоки  $d = 8$  мм, средний диаметр пружины  $D = 96$  мм, рабочее число витков  $i = 5$ .

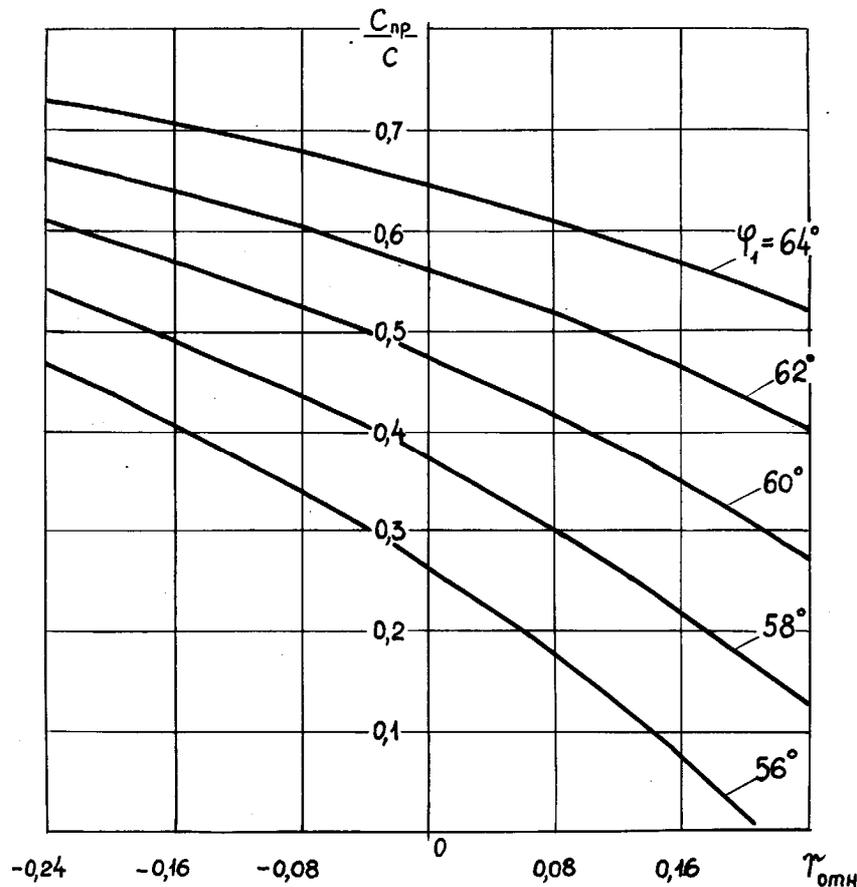


Рисунок 2 – Характеристика относительной приведенной жесткости модуля

Из рис. 2 следует, что приведенная жесткость изменяется по закону, близкому к линейному, что позволяет при исследовании дифференциального уравнения движения защищаемого объекта для качественной оценки поведения системы аппроксимировать зависимость  $C_{пр}$  от  $(y_1 - y_2)$  линейной функцией.

Частота собственных вертикальных колебаний защищаемого объекта:

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_{пр}}{m_1}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c}{m_1} \left[ 1 - \frac{q}{\left( \sqrt{(\tan \varphi_1 - r_{отн})^2 + 1} \right)^3} \right]}$$

где  $m_1$  - масса защищаемого объекта, приходящаяся на одну пружину.

Так как приведенная жесткость модуля – величина переменная, то частота собственных колебаний защищаемого объекта – плавающая, т.е. она изменяется при относительном его перемещении.

На рис. 3 приведены графики зависимости частоты собственных колебаний защищаемого объекта  $f_c$  от уровня относительного перемещения  $r_{отн}$  для экспериментального образца модуля ВЗУ.

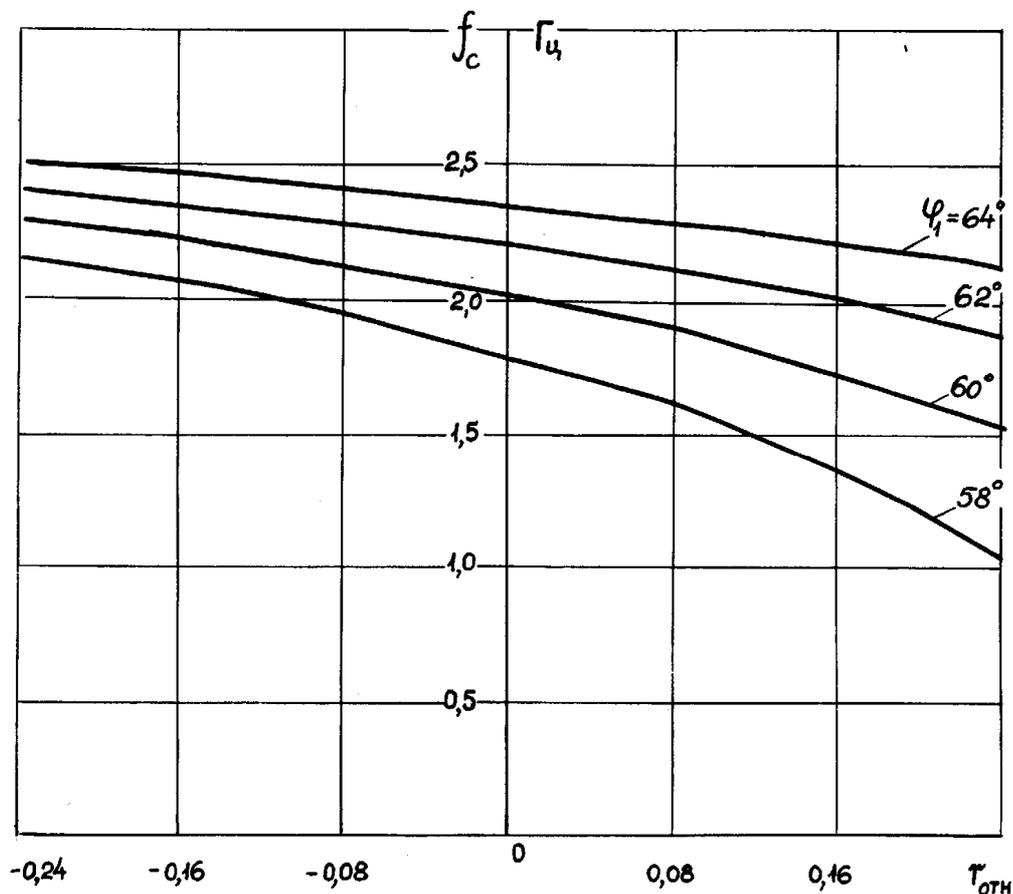


Рисунок 3 – Изменение частоты собственных колебаний модуля от относительного перемещения защищаемого объекта

**Выводы.** В результате проведенных исследований выявлена закономерность изменения приведенного коэффициента жесткости модуля ВЗУ в процессе колебаний основания, и зависимость частоты собственных колебаний системы от уровня относительного перемещения защищаемого объекта. Из графиков, представленных на рис. 3 видно, что максимальная частота собственных колебаний не превышает 2,5 Гц. Изменения начального угла наклона пружин  $\varphi_1$  в пределах, обусловленных сохранением устойчивости системы, позволяет снизить максимальную собственную частоту до 1,8 - 2 Гц, что обеспечивает работу ВЗУ практически в зарезонансной зоне, где эффективность виброизоляции значительно повышается.

**Список литературы:** 1. Гордиенко Э.Л., Кондрахин П.М., Мазуренко В.В., Мешков В.А., Пархоменко В.Г., Гордиенко В.П. Виброзащитное устройство. А.С. №1308786 от 24 января 1986 г. 2. Фролов К.В., Фурман Ф.А. Прикладная теория виброзащитных систем. М.: Машиностроение, 1980, - 276 с.