

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТРОСОВОГО ВИБРОИЗОЛЯТОРА С ПЕРЕГИБНОЙ ФОРМОЙ НАЧАЛЬНОЙ УПРУГОЙ ЛИНИИ

А.С. Гвоздев А.С., Пономарев Ю.К.

Самарский государственный аэрокосмический университет

### RESEARCH OF CHARACTERISTICS FOR WIRE-ROPE VIBRATION INSULATOR WITH BENDING FORM OF THE INITIAL ELASTIC LINE

*Gvozdev A.S., Ponomarev Yu.K. Samara State Aerospace University. A novel method based on use of dimensionless criteria for calculating load characteristic wire-rope vibration insulator possessing the difficult form of the elastic line is proposed.*

Современные цельнометаллические виброизоляторы относятся к устройствам, испытывающим при работе значительные деформации, соизмеримые с размерами упругих элементов. В этих условиях наблюдается существенно нелинейная зависимость больших перемещений от внешних сил, хотя материал упругих элементов виброизолятора работает упруго вследствие малых деформаций. Поэтому линейная теория изгиба упругих стержней дает очень большую погрешность при расчете виброизоляторов.

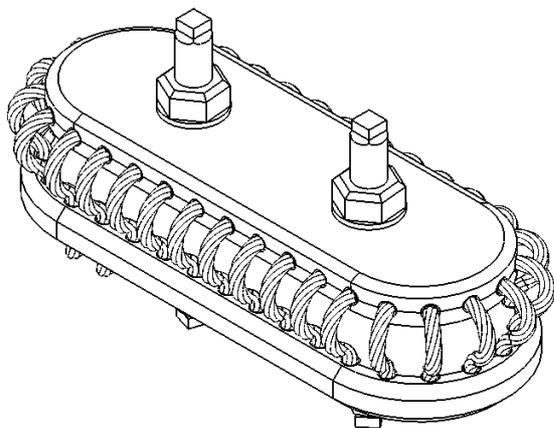


Рис. 1. Виброизолятор

Разными авторами приводятся различные теории поведения упругих стержней под действием нагрузок, вызывающих существенные деформации, соизмеримые с их размерами [1-4]. Опираясь на данные теоретических положений, авторы предлагают методику расчета статических характеристик виброизоляторов с перегибной формой начальной упругой линии, сочетающей пря-

молинейные и радиусные рабочие участки, в нелинейной постановке, которая позволяет существенно упростить проектирование виброизоляторов такого типа (рис. 1). Данная конструктивная схема позволяет создавать виброизоляторы от сверхмалых номинальных нагрузок (0,1 Н) до значительных (100 Н) [3].

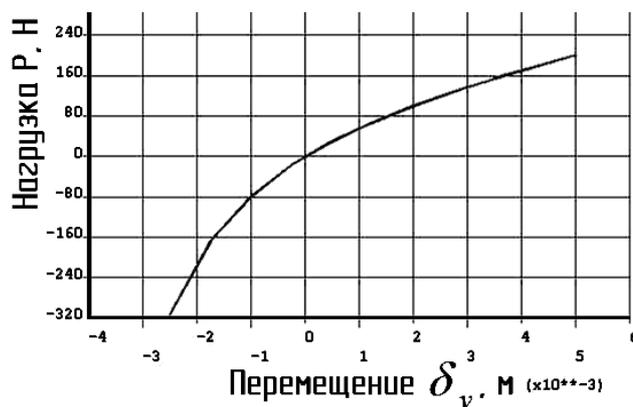


Рис. 2. График нагрузочной характеристики виброизолятора (рис. 1) в вертикальном направлении

На основе расчетной схемы упругого элемента построена нагрузочная характеристика виброизолятора (рис. 2).

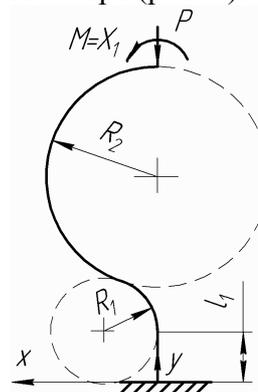


Рис. 3. Расчетная схема упругого элемента

Данная система является, дважды статически неопределимой, т.к. в качестве лишних связей выступают момент  $M$  и реакция вдоль оси  $X$  в точке приложения внешней силы  $P$  (рис. 3). Но, поскольку верхняя и нижняя заделки находятся на линии действия внешней силы  $P$ , то сила реакции вдоль оси  $X$  равна нулю, что подтвердила проверка методом конечных элементов. Поэтому в дальнейшем система рассматривалась, как один раз статически неопределимая.

В силу линейной зависимости нагрузки от перемещений, в данной задаче справедлив принцип суперпозиции перемещений по всем участкам упругого элемента [2]. Выражение нагрузочной характеристики можно записать в виде (1):

$$\delta_y = \frac{2}{EJ} \left[ \begin{array}{l} R_1^2 \left( PR_1 \left( \frac{3\pi}{4} - 2 \right) + M \left( 1 - \frac{\pi}{2} \right) \right) - MR_1 + \\ + 2R_2 \left( P \left( \frac{\pi R_2^2}{4} + 2R_2 R_1 + \frac{\pi R_1^2}{2} \right) - M \frac{2R_2 + \pi R_1}{2} \right) - \frac{M}{2} \end{array} \right]$$

Данное выражение было представлено в безразмерном виде. Для этого оно было проанализировано на основе  $\pi$ -теоремы. Установлено, что количество безразмерных критериев, достаточных для описания этой системы равно  $p = 5$ .

Использованы следующие критерии подобия – безразмерная деформация  $\zeta_y$  и безразмерная сила  $\beta$  - в виде [4]

$$\zeta_y = \delta_y / R, \quad \beta = \frac{PR^2}{EJ} \quad (2)$$

где параметр  $R$  виброизолятора, можно найти из выражения

$$R = R_1 + 2R_2 + l_1. \quad (3)$$

Безразмерные длина прямолинейного участка и радиусы упругого элемента:

$$\lambda_1 = \frac{l_1}{R}; \gamma_1 = \frac{R_1}{R}; \gamma_2 = \frac{R_2}{R} \quad (4)$$

Для упрощения итогового выражения, был выделен комплекс безразмерных параметров  $\mu$  – безразмерный момент:

$$\mu = \frac{M}{PR} = \frac{\gamma_1^2(\pi - 2) + \gamma_2(2\gamma_2 + \pi\gamma_1)}{2\lambda_1 + \pi(\gamma_1 + \gamma_2)}. \quad (5)$$

Итоговое выражение для построения безразмерной нагрузочной характеристики исследуемого виброизолятора получено в виде

$$\beta_y = \frac{m\zeta_y}{2(K_1 + K_2)}, \quad (6)$$

где  $m=32$  – число элементов в ансамбле виброизолятора, а комплексы безразмерных параметров  $K_i$ , зависящих от геометрии упругого элемента, определены из выражений

$$K_1 = \gamma_1^2 \left( \left( \frac{3\pi}{4} - 2 \right) \gamma_1 + \mu \left( 1 - \frac{\pi}{2} \right) \right), \quad (7)$$

$$K_2 = \gamma_2 \left( \frac{\pi\gamma_2^2}{4} + 2\gamma_2\gamma_1 + \frac{\pi\gamma_1^2}{2} - \mu \left( \gamma_2 + \frac{\pi}{2}\gamma_1 \right) \right). \quad (8)$$

Таким образом, на основе предложенной авторами методики, получено обобщенное аналитическое выражение (6) для определения нагрузочной характеристики рассматриваемого виброизолятора в вертикальном направлении.

### Библиографический список

1. Попов, Е.П. Теория и расчет гибких упругих стержней. / Е.П. Попов. – М.: Наука, 1986. – 296 с.
2. Тимошенко, С.П. Сопротивление материалов : в 2 т. / С.П. Тимошенко: перевод с английского В.Н. Федорова. – М.: Наука, 1965. – 2т.
3. Чегодаев, Д.Е. Демпфирование / Чегодаев, Д.Е., Пономарев, Ю.К. – Самара: Изд-во СГАУ, 1997. – 334 с.
4. Пономарев, Ю.К. Многослойные цельнометаллические виброизоляторы с упругими элементами регулярной структуры. / Ю.К. Пономарев, В.И. Калакуцкий. – Самара: Изд-во СГАУ, 2003. – 198 с.