

ПОЛЫЙ РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКИЙ АМОРТИЗАТОР ВРАЩЕНИЯ

ПРАСНИКОВА С. С.

В работах [1, 2] по статистическому расчету резинометаллического амортизатора вращения получены новые результаты, связанные с приближенным определением величины предельной нагрузки амортизатора.

1. Рассматривается полый резинометаллический амортизатор, имеющий вид усеченного конуса (фиг. 1). Для расчета его жесткостной характеристики использованы уравнения нелинейной теории тонких оболочек из эластомеров [3, 4]. Основные соотношения получены в главных осях деформации. Задача сводится к решению системы шести дифференциальных уравнений, при выводе которых учитывалась физическая и геометрическая нелинейности общего вида

$$\frac{d\lambda_2}{ds^\circ} + \frac{\cos \varphi^\circ}{r^\circ} \lambda_2 - \frac{\cos \varphi}{r^\circ} \lambda_1 = 0,$$

$$\frac{dz}{ds^\circ} - \lambda_1 \sin \varphi = 0$$

$$d\varphi/ds^\circ - \lambda_1^2 \lambda_2 (\kappa_1 + d\varphi/ds^\circ) = 0 \quad (1.1)$$

$$dT_{11}/ds^\circ + \cos \varphi^\circ T_{11}/r^\circ - \cos \varphi T_{22}/r^\circ + T_{1n} d\varphi/ds^\circ = 0$$

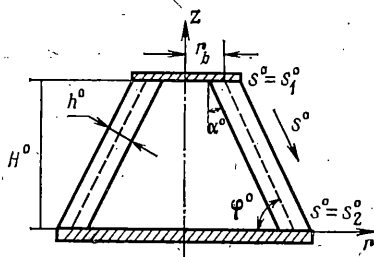
$$dT_{1n}/ds^\circ + \cos \varphi^\circ T_{1n}/r^\circ - \sin \varphi T_{22}/r^\circ - (d\varphi/ds^\circ) T_{11} + \lambda_1 \lambda_2 q_n = 0$$

$$dM_{11}/ds^\circ + \cos \varphi^\circ M_{11}/r^\circ - \cos \varphi M_{22}/r^\circ - \lambda_1 T_{1n} = 0$$

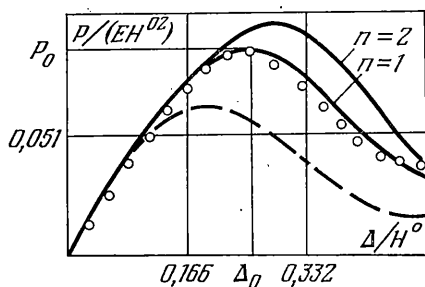
Система дополнена геометрическими соотношениями

$$\lambda_1 = \frac{ds}{ds^\circ}, \quad \lambda_2 = \frac{r}{r^\circ}, \quad \kappa_1 = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \frac{d\varphi}{ds} - \frac{d\varphi^\circ}{ds^\circ}$$

$$\kappa_2 = \frac{\lambda_z \lambda_1^{-1} \sin \varphi - \sin \varphi^\circ}{r^\circ}, \quad \lambda_z = \frac{1}{\lambda_1 \lambda_2}, \quad \kappa_z = -(\kappa_1 + \kappa_2) \quad (1.2)$$



Фиг. 1



Фиг. 2

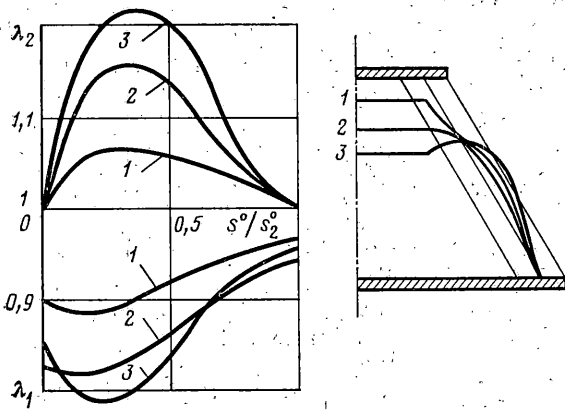
Здесь λ_1, λ_2 — главные кратности удлинений вдоль меридиана и параллели, κ_1, κ_2 — компоненты изгибной деформации, λ_z и κ_z — параметры, определяющие деформацию поперечного волокна.

Уprungие свойства материала описываются двухкомпонентным потенциалом вида

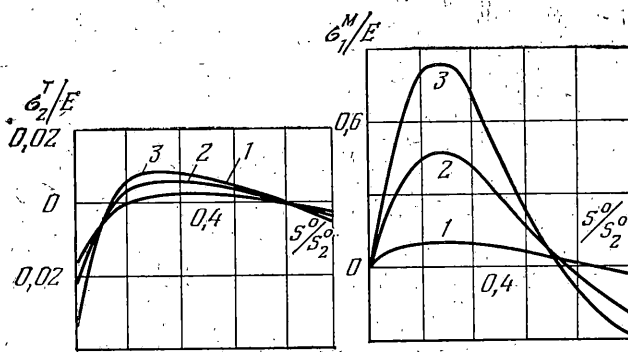
$$\Phi^\circ = 2G(\lambda_1^n + \lambda_2^n + \lambda_z^n - 3)/n \quad (1.3)$$

где G — линейный модуль сдвига, n — безразмерная постоянная материала.

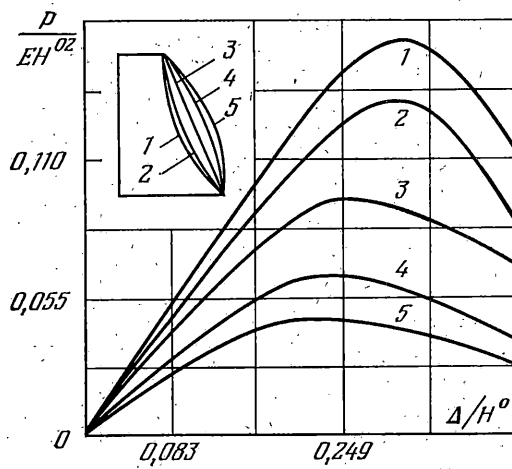
При $n=1$ потенциал (1.3) отвечает материалу Баргенева — Хазановича, а при $n=2$ — неогукковскому закону.



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5

Принимая статическую гипотезу Кирхгофа $\sigma_t=0$ и предполагая распределение напряжений по толщине линейным, получаем нелинейные соотношения упругости

$$T_{11} = (2Gh^3/n)\lambda_1^{-1}(\lambda_1^n - \lambda_1^{-n}\lambda_2^{-n}), \quad T_{22} = (2Gh^3/n)\lambda_2^{-1}(\lambda_2^n - \lambda_1^{-n}\lambda_2^{-n}) \quad (1.4)$$

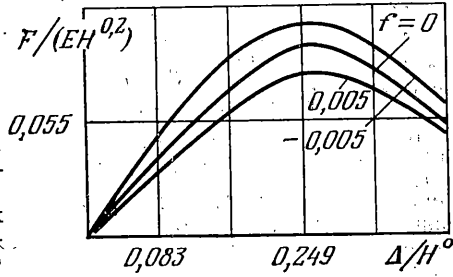
$$M_{11} = \frac{Gh^3}{3}\lambda_1^{-(n+2)}\lambda_2^{-(n+1)}\left(\kappa_1 + \frac{1}{2}\kappa_2\right),$$

$$M_{22} = \frac{Gh^3}{3}\lambda_1^{-(n+1)}\lambda_2^{-(n+2)}\left(\frac{1}{2}\kappa_1 + \kappa_2\right)$$

где T_{11} , T_{22} , M_{11} , M_{22} — меридиональные и окружные усилия и моменты.

Система уравнений (1.1) с учетом (1.2) и (1.4), дополненная граничными условиями $\lambda_2(s_1^0) = \lambda_2^0(s_1^0)$, $z(s_1^0) = z^0(s_1^0) - \Delta$, $M_{11}(s_{11}^0) = 0$ при $s^0 = s_1^0$; $\lambda_2(s_2^0) = \lambda_2^0(s_2^0)$, $z(s_2^0) = z^0(s_2^0)$, $\varphi(s_2^0) = \varphi^0(s_2^0)$ при $s^0 = s_2^0$ представляет одномерную нелинейную краевую задачу. Решение ее сводится к последовательности задач Коши для той же системы уравнений. Для лучшего задания приближенных значений недостающих основных неизвестных введен параметр Δ — осадка верхнего основания. На базе описанного алгоритма разработана программа на языке АЛГОЛ.

2. Сравнение расчетных жесткостных кривых с экспериментальными, полученными при испытании модели конического амортизатора под действием осевой сжимающей силы, выявило преимущество (в рассматриваемом случае) закона Бартенева — Хазановича ($n=1$) (фиг. 2). Расчет по уравнениям Э. Рейсснера [5], учитывающим большие углы поворота при малых удлинениях и сдвигах, дает заниженную жесткость (штриховая кривая).



Фиг. 6

Напряженно-деформированное состояние конического амортизатора исследовано на трех различных стадиях нагружения. На фиг. 3, а для этих состояний, обозначенных цифрами 1, 2, 3, даны кривые изменения меридиональной λ_1 и окружной λ_2 кратностей удлинений, а на фиг. 3, б — изменение формы меридиана срединной поверхности ($\Delta_1/H^0=0,12$, $\Delta_2/H^0=0,25$, $\Delta_3/H^0=0,38$).

На фиг. 4 показано распределение цепных окружных σ_2^T и изгибных меридиональных σ_1^M напряжений для тех же трех состояний.

Анализ расчетных жесткостных характеристик показал (фиг. 5), что за счет изменения очертания меридиана срединной поверхности амортизатора можно существенно изменить его жесткость на сжатие.

Для выявления действия внутреннего или внешнего нормального давления на жесткость конического амортизатора, находящегося под действием сжимающей силы, проведен расчет при различных значениях $f = q_n/E$ (фиг. 6) (E — модуль Юнга).

Наличие простого метода расчета позволило получить путем математической обработки числовых значений максимальной сжимающей силы P_0 и отвечающей ей осадки Δ_0 (фиг. 2) приближенные формулы для их вычисления: $P_0 = x_0\alpha_1^{x_1}\alpha_2^{x_2}\alpha_3^{x_3}$, $\Delta_0 = y_0\alpha_1^{y_1}\alpha_2^{y_2}\alpha_3^{y_3}$, $P_0 = \bar{P}_{\max}/(EH^2)$, $\Delta_0 = \Delta_{\max}/H^0$, $\alpha_1 = r_0/H^0$, $\alpha_2 = h^0/H^0$, $\alpha_3 = \alpha^0$. При этом $x_0 = 0,83 + 0,25n$, $x_1 = 0,26 + 0,04n$, $x_2 = 1,87 + 0,13n$, $x_3 = 1,13 - 0,08n$, $y_0 = 0,52 + 0,10n$, $y_1 = -0,23 - 0,03n$, $y_2 = 0,90 + 0,10n$, $y_3 = -0,40 - 0,14n$, где n — безразмерная постоянная материала в выражении упругого потенциала (1.3).

ЛИТЕРАТУРА

1. Прасникова С. С. Осесимметричная деформация оболочек из эластомеров. — В кн.: Прикладная математика. Л.: Изд-е Ленингр. инж.-строит. ин-та, 1979, с. 77–83.
2. Прасникова С. С. Статистический расчет амортизатора вращения. — В кн.: Механика эластомеров. Т. 3. Краснодар: Изд-е Краснодар. политехн. ин-та, 1980, с. 24–29.
3. Черныш К. Ф. Нелинейная теория изотропно упругих тонких оболочек. — Изв. АН СССР. МТТ, 1980, № 2, с. 148–169.
4. Черныш К. Ф. Нелинейная теория тонких упругих оболочек из эластомеров. — В кн.: Устойчивость пластин и оболочек. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1981, с. 8–11.
5. Reissner E. On axisymmetrical deformation of thin shells of revolution. — Proc. Symp. Appl. Math. V. 3. Elasticity. N. Y.: McGraw-Hill, 1950, p. 27–52.

Ленинград

Поступила в редакцию
24.IX.1983