УДК 678.4.06:621.81

Дырда В.И., д-р техн. наук, профессор
(ИГТМ НАН Украины),
Сокол С.П., канд. техн. наук
(ДГАЭУ),
Козуб Ю.Г., канд. техн. наук, доцент
(ЛНУ им. Тараса Шевченко),
Твердохлеб Т.Е., инженер
(ИГТМ НАН Украины),
Колбасин В.А., канд. техн. наук, доцент
(ДГАЭУ)

К РАСЧЁТУ МАССИВНЫХ РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ДЕФОРМАЦИЯХ СЖАТИЯ

Дирда В.І., д-р техн. наук, професор
(ІГТМ НАН України),
Сокол С.П., канд. техн. наук
(ДДАЕУ),
Козуб Ю.Г., канд. техн. наук, доцент
(ЛНУ ім. Тараса Шевченка),
Твердохліб Т.О., інженер
(ІГТМ НАН України),
Колбасін О.В., канд. техн. наук, доцент
(ДДАЕУ)

ДО РОЗРАХУНКУ МАСИВНИХ ГУМОМЕТАЛЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПІД ЧАС ДЕФОРМАЦІЙ СТИСКУ

Dyrda V.I., D. Sc. (Tech.), Professor
(IGTM NAS of Ukraine),
Sokol S.P., Ph. D. (Tech.)
(DSAEU),
Kozub Yu.G., Ph. D. (Tech.), Associate Professor
(LNU named after T. Shevchenko),
Tverdokhleb T.Ye., Master of Science
(IGTM NAS of Ukraine),
Kolbasin V.A., Ph. D. (Tech.), Associate Professor
(DSAEU)

ON CALCULATION OF MASSIVE RUBBER-METALLIC ELEMENTS UNDER COMPRESSIVE STRAINS

Аннотация. Излагается методика расчёта жесткостных и диссипативных параметров массивных цилиндрических элементов при деформациях монофазного сжатия. Алгоритм решения задачи сводится к: выбору коэффициентов жёсткости; решению связанной задачи нелинейной термовязкоупругости и расчёту напряжённо-деформированного состояния; построению приближённых соотношений для расчёта жесткостных характеристик элементов путём использования установленных закономерностей; оценке их точности. Экспериментальным исследованиям подлежали резиновые и резинометаллические сплошные и полые цилиндрические элементы. Такие элементы обладают специфическими анизотропными свойствами: жёсткости на сдвиг и на сжатие могут существенно различаться. Использование таких эффектов целесообразно для виброизоляции тяжёлых машин, а также для защиты зданий и сооружений от вибраций техногенного и промышленного типа.

Ключевые слова: напряжённо-деформированное состояние, массивные резиновые элементы, жесткостные и диссипативные параметры, коэффициенты жёсткости

Резинометаллические детали машин (рисунок 1) представляют собой достаточно массивные элементы, выполненные из наполненных резин, в связи с чем, их жесткостные и диссипативные параметры определяются в результате решения связанной задачи нелинейной термовязкоупругости.

Методика расчёта жесткостных и диссипативных параметров элементов строится в результате осуществления следующих этапов исследований:

– выбор наиболее удобных для исследований механических характеристик, через которые достаточно просто могут быть выражены жесткостные параметры низкочастотных вибросейсмоблоков. Такими параметрами являются введённые и обоснованные [1] коэффициенты жёсткости типа $\tilde{\beta}$ (в общем случае комплексные: $\tilde{\beta}_n = \beta' + i\beta''$; $\overline{\beta}_\tau = \overline{\beta}'_\tau + i\overline{\beta}''_\tau$; индексы n, τ отвечают соответственно сжимающим и сдвигающим усилиям, $(\cdot)'$ и $(\cdot)''$ – характеризуют модули накопления и потерь);

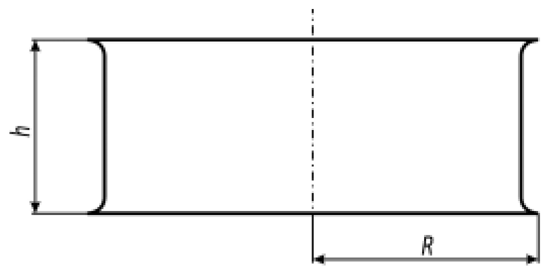

Рисунок 1 – Цилиндрический резиновый элемент

– решения связанной задачи нелинейной термовязкоупругости и расчёта напряжённо-деформированного состояния (НДС) для заданных конфигураций элементов с целью определения их характеристик в заданном диапазоне изменения геометрических размеров, частот и амплитуд нагружения;

– обобщение полученных результатов и построение приближённых соотношений для расчёта жесткостных характеристик элементов путём использования установленных закономерностей; оценка их точности.

Ниже последовательно излагаются основные положения и предпосылки, необходимые для реализации указанных этапов исследования цилиндрических (сплошных и полых) резинометаллических элементов.

При решении первой задачи водятся параметры жёсткости $\tilde{\beta}$ аналогично параметрам жёсткости в линейной теории упругости [1] по формулам:

для цилиндрических элементов сжатия $|z| \le h,\ R_0 < r < R$

$$\tilde{\beta}_n = 2\left(R^2 - R_0^2\right)^{-1} \int_{R_0}^{R} \frac{r\tilde{\sigma}_{zz}(r,h)\,dr}{E_0\varepsilon_0}; \qquad (1)$$

для цилиндрических элементов при сдвиге вдоль оси OX на величину u_{0x}

$$\tilde{\beta}_\tau = \frac{1}{S}\int_S \frac{t_x dS}{G_0\gamma_0}, \quad t_x = \sigma_{zr}\cos\theta' - \sigma_{z\theta}\sin\theta', \tag{2}$$

где индексы n, τ отвечают соответственно сжимающим и сдвигающим усилиям; S – площадь приложения нагрузки; G_0, E_0 – некоторые отсчётные модули:

$$G_0 = \tilde{G}_L(\omega,\theta_0), \quad E_0 = \tilde{E}_L(\omega_0,\theta_0),$$
$$\varepsilon_0 = u_0(y,z)/h, \quad \gamma_0 = u_{0x}/h.$$

Параметры типа $\tilde{\beta}$ являются самыми удобными для исследований. Они безразмерны, при фиксированном значении коэффициента Пуассона ν зависят только от геометрии элемента и являются его универсальной характеристикой. Коэффициенты $\tilde{\beta}$ дают исчерпывающую информацию о механическом поведении элементов, поскольку в полной мере характеризуют кажущиеся модули накопления и потерь

$$\tilde{E}_k = \tilde{\beta}_n E_0, \quad \tilde{G}_k = \tilde{\beta}_\tau G \quad \text{или} \quad E_k^{','''} = \beta_n^{','''} E_0, \quad G_k^{','''} = \beta_\tau^{','''} G_0, \tag{3}$$

определяют коэффициенты жёсткости элементов в зависимости от амплитуды нагружения через амплитудно-зависимые модули $\tilde{E}_k$, $\tilde{G}_k$

$$\tilde{C}_n = \tilde{E}_k \cdot S/H, \quad \tilde{C}_\tau = \tilde{G}_k \cdot S/H. \tag{4}$$

Коэффициенты $\tilde{\beta}$, включая в себя также информацию о конструкционном выполнении элементов, являются, таким образом, конструктивно-деформационным параметром, характеризующим деформационные свойства элементов.

В работе [1] проведено обоснование универсальных параметров типа $\tilde{\beta}$ как объектов исследования, однозначно определяющих все характеристики элементов (силовые и диссипативные) при циклическом деформировании.

При решении второй задачи – определении НДС в элементах используются допущения, соответствующие условиям эксплуатации и общепринятым физическим представлениям о резине, как о конструкционном материале: при циклическом нагружении в элементах реализуется простое (монофазное) деформированное состояние, элементы рассматриваются как изотропные нелинейно-вязкоупругие тела в форме цилиндра $R_0 \le r \le R$, $|z| \le h$ подверженные кинематическому возбуждению по торцам $z = \pm h$. Боковые поверхности свободны от нагрузки. На поверхности элементов осуществляется теплообмен по закону Ньютона, амплитуды внешних нагрузок, температура и параметры, характеризующие старение материала, являются медленно изменяющимися функциями времени т.е. их колебаниями в течение периода можно пренебречь.

При сделанных допущениях математическая постановка задачи формулируется в терминах амплитуд механических полей: перемещений $\tilde{u}_{0i}(\bar{x},t)$, деформаций $\tilde{\varepsilon}_{ij}(\bar{x},t)$, напряжений $\tilde{\sigma}_{ij}(\bar{x},t)$ и усреднённой за период колебаний температыры θ имеет тот же вид, что и в линейной вязкоупругости и включает следующие уравнения:

$$\tilde{\sigma}_{ij}=0, \quad c\dot{\theta}=k\left(\theta_{,i}\right)_{,i}+\bar{D}', \tag{5}$$

$$\tilde{\sigma}_{ij}=2\tilde{G}\left(\tilde{\varepsilon}_{ij}+\frac{\nu}{1-2\nu}\tilde{\varepsilon}_{kk}\delta_{ij}\right), \quad \tilde{\varepsilon}_{ij}=\frac{1}{2}\left(\tilde{u}_{ij}+\tilde{u}_{ji}\right), \tag{6}$$

$$\bar{D}'=\frac{\omega}{2}\left(\sigma''_{ij}\varepsilon'_{ij}-\sigma'_{ij}\varepsilon''_{ij}\right), \quad i,j=1,2,3, \tag{7}$$

где $(\tilde{\cdot})=(\cdot)'+i(\cdot)''$ – комплексная амплитуда; c и k – коэффициенты объёмной теплоёмкости и теплопроводности; $\tilde{G}$ и ν – модуль сдвига и коэффициент Пуассона; $\tilde{\sigma}_{ij},\tilde{u}_{ij}$ – компоненты тензоров напряжений и перемещений; ω – частота нагружения.

Нагружение рассматриваемых цилиндрических элементов характеризуется следующими граничными условиями:
при сжатии $|z|\le h, \quad R_0<r<R$

$$\begin{aligned}&\tilde{u}_z=\pm u_{0z}, \quad \tilde{u}_r=0, \quad z=\pm h,\\ &\tilde{\sigma}_r=0, \quad \tilde{\sigma}_{rz}=0, \quad r\in\left[R_0,R\right];\end{aligned} \tag{8}$$

при сдвиге вдоль оси OX на величину u_{0X}

$$\begin{aligned}&\tilde{u}_{rr}=u_{ox}\cos\theta, \quad \tilde{u}_{\theta\theta}=-u_{ox}\sin\theta, \quad u_{zz}=0 \quad && z=h\\ &u_{rr}=\tilde{u}_{\theta\theta}=\tilde{u}_{zz}=0, && z=-h\\ &\tilde{\sigma}_{rz}=\tilde{\sigma}_{rr}=\tilde{\sigma}_{r\theta}=0; && r\in\left[R_0,R\right]\end{aligned} \tag{9}$$

тепловые граничные условия

$$\begin{aligned}&\theta_{,z}\pm\alpha_1k^{-1}\left(\theta-\theta_c\right)=0, \quad z=\pm h,\\ &\theta_{,r}\pm\alpha_2k^{-1}\left(\theta-\theta_c\right)=0, \quad r\in\left[R_0,R\right].\end{aligned} \tag{10}$$

Здесь α_1, α_2 – коэффициенты теплоотдачи. Начальное распределение температуры даётся равенством

$$\theta\left(x_i,0\right)=\theta_0\left(x_i\right). \tag{11}$$

В принятых соотношениях $\theta_0\left(\vec{x},t\right)$, $\tilde{u}_{0i}\left(\vec{x},t\right)$ – медленно изменяющиеся функции времени и амплитуд.

Зависимость комплексного модуля сдвига от температуры, частоты и амплитуды деформации на основании экспериментальных данных [2] имеет вид

$$\tilde{G} = \tilde{G}(\omega,\theta,e) = G_L^{','}(\omega,\theta) F^{','}(e), \qquad (12)$$

где $G_L^{','}(\omega,\theta)$ – модули сдвига линейной теории вязкоупругости, отвечающие очень малым деформациям ε = 0,5 %; e – интенсивность амплитуды девиатора деформации;

$$e = \left(e'_{ij} \cdot e'_{ij} + e''_{ij} \cdot e''_{ij}\right)^{1/2}, \quad \tilde{e}_{ij} = \tilde{\varepsilon}_{ij} - \frac{1}{3}\varepsilon_{kk}\delta_{ij}, \quad |\tilde{\varepsilon}| = \left(\varepsilon'^2_{ij} + \varepsilon''^2_{ij}\right)^{1/2}, \quad \tilde{\varepsilon} = \tilde{\varepsilon}_{kk}; \qquad (13)$$

$F^{','}$ – функции, удовлетворяющие условиям $F'(0) = F''(0) = 1$.

При конкретизации функций $F^{','}$ использованы экспериментальные зависимости $G^{','}$ от амплитуды деформаций сдвига – классические существенно нелинейные зависимости Пейна для наполненных резин.

Объёмное поведение материала моделируется гипотезой $\tilde{\nu} = \nu' = \text{const} = 0,495$, что характерно для элементов из слабосжимаемых эластомеров с достаточно развитой свободной поверхностью.

Расчёт $\tilde{\beta}$ производятся по формулам (1)-(2) путём решения задачи (5)-(12) методом типа переменных параметров упругости в сочетании с МКЭ при конкретизации (9), (10), (12) свойствами модельной резины [3], обладающей существенной нелинейностью в области малых деформаций ($0 \le \gamma \le 0,15$). Значения геометрических размеров варьируются в пределах $0,2 \le y = h/\ell \le 1$; $0,2 \le z_0 = h/R \le 1$. Данные экспериментальных исследований (12) обобщаются на случай многоосной деформации с помощью соотношения $e = \gamma / \sqrt{2}$

$$F^{','}(e) = G^{','}\left(\sqrt{2}e\right) / G_L^{','}. \qquad (14)$$

На третьем этапе исследований выполнялось обобщение полученных результатов расчёта напряжённо-деформированного состояния элементов, установлены закономерности поведения их механических характеристик при циклическом деформировании. Установлено, что их зависимость от амплитуды деформации и соотношения размеров выражается посредством единого параметра – среднеобъёмной интенсивности амплитуд деформаций [1]. Для коэффициентов $\tilde{\beta}$ построены справочные таблицы [1] и их аппроксимационные формулы, которые справедливы для силовых элементов базовых форм с достаточно развитой формой свободной поверхности при сдвиге, сжатии, комбинированном нагружении сдвиг – сжатие.

Обобщение выполнялось на основе интегральной математической модели [3], позволяющей выразить жесткостные и механические характеристики вибросейсмоблоков посредством конечных аналитических выражений через единый параметр – среднеобъёмную интенсивность амплитуд деформации $\bar{e}$, а коэффициенты $\tilde{\beta}$ через коэффициенты $\tilde{\beta}_0$, линейной теории вязкоупругости ($F^{','}(0) = 1$, $\text{tg}\,\delta_0 = G''/G'_0$, $\tilde{G} = G_0$) по формулам

$$\beta_n^{','''} = 2(1+\nu)\beta_{on}G_L^{','''}(\omega,\theta_0)F^{','''}(\bar{e})/G, \qquad (15)$$

$$\beta_\tau^{','''} = \beta_{o\tau}G_L^{','''}(\omega,\theta_0)F^{','''}(\bar{e})/G_0, \qquad (16)$$

Среднеобъёмная интенсивность $\bar{e}$ в элементах в зависимости от вида нагружения и геометрии элементов определяется по формулам:
при произвольном комбинированном нагружении

$$\bar{e} = \left[\varepsilon_{0x}^2\beta_{0\tau} + 2(1+\nu)\beta_{0n}\varepsilon_{0y}^2\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (17)$$

при комбинированном нагружении с одной фазой возбуждения (угол приложения нагрузки равен φ)

$$\bar{e} = \frac{u_0}{H}\left(\beta_{on}\cos^2\varphi + \frac{\beta_{o\tau}}{2(1+\nu)}\sin^2\varphi\right); \qquad (18)$$

при сжатии и сдвиге соответственно

$$\bar{e} = \varepsilon_{0y}\sqrt{(1+\nu)\beta_{0n}}, \quad \bar{e} = \varepsilon_{0x}\sqrt{\frac{\beta_{0\tau}}{2}}, \qquad (19)$$

где u_0 – смещение элемента в направлении действия силы; $H = 2h$.

Коэффициенты жёсткости $\tilde{C}_n$ и $\tilde{C}_\tau$ рассчитываются согласно (4). Все остальные частные случаи гармонического нагружения описываются зависимостями типа (15), (16), при этом при комбинированном нагружении с фиксированной фазой возбуждения согласно [4]

$$\beta^{','''} = \beta_0 G^{','''}(\omega,\theta_0,\bar{e}), \quad E_k^{','''} = 2(1+\nu)\beta_0 G^{','''}(\omega,\theta_0,\bar{e}) \qquad (20)$$

$$\beta_0 = \beta_{0n}\cos^2\varphi + \frac{\beta_{0\tau}}{2(1+\nu)}\sin^2\varphi, \quad \bar{e} = \bar{\varepsilon}_0\left[(1+\nu)\beta_0\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (21)$$

где $\bar{\varepsilon}_0 = u_0/H$ – амплитуда перемещения; u_0 – угол между направлением действующей силы и нормалью к поверхности торца.

Коэффициенты $\beta_{0\tau}$, β_{0n} для сплошных цилиндрических элементов определяются по формулам [4]

$$\beta_{0\tau} = 1 - \frac{h}{2D}, \qquad (22)$$

$$\beta_{0n} = 1,05 + \frac{1}{16}\cdot\frac{D^2}{h^2}, \quad D \geq 2h, \qquad (23)$$

Для полых цилиндрических элементов [5]

$$\beta_{0\tau} = \left[1 + \left(0,336 + 1,15\varepsilon_0^{1,72}\right)\cdot z_0^{1,16}\right]^{-1}, \quad \varepsilon_0 = \frac{R_0}{R}, \quad z_0 = \frac{h}{R}, \qquad (24)$$
$$1 \le z_0^{-1} \le 10, \quad 0 \le \varepsilon_0 \le 0,5,$$

где $2h$ – высота РД; R_0, R – внутренний и внешний радиусы РД; D – диаметр элемента.

В интервале $1 \le z_0 \le 10$ и $0 \le \varepsilon_0 \le 0,5$ погрешность (24) не превышает 4 %, а для $\varepsilon_0 = 0,7$ – не более 8 %. Уменьшение значения $\beta_{0\tau}$ для сравнительно высоких элементов объясняется изгибом, проявляющимся с увеличением относительной высоты h/R_0.

Расчёт жесткостных параметров вибросейсмоблоков с учётом эффектов объёмного сжатия производится по формуле [2]

$$\beta = \frac{\tilde{E}_k}{\tilde{E}} = \frac{1-\nu}{(1+\nu)(1-2\nu) + 15,42\nu(1-\nu)y_0^2}, \qquad (25)$$

где $\tilde{E}$ и $\tilde{E}_k$ – истинный и кажущийся модули Юнга; $y_0 = h_p/R$ (h_p– толщина резинового слоя, R – радиус цилиндра).

Из (25) вытекает предельное равенство для элементов малой толщины в виде

$$\lim_{y_0 \to 0} = \frac{1-\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}. \qquad (26)$$

Отсюда следует, что при уменьшении толщины слоя резины жёсткость элемента стремится к некоторому предельному значению, в частности

$$\tilde{E}_k \cong \frac{E}{3(1-2\nu)} = K, \qquad (27)$$

где K – модуль объёмного сжатия.

При $\nu \cong 0,5$ напряжённое состояние в тонкослойных элементах близко к всестороннему сжатию. Известно, что особенностью поведения резины в этом случае является существенный рост коэффициента жёсткости при уменьшении толщины.

Область применения приближённых соотношений (22)-(25):

$z_0 \ge 0,2$ с погрешностью менее 10 % при сжатии и
$z_0 \le 0,8$ с погрешностью менее 2 % при сдвиге.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Универсальный конструкционно-деформационный параметр и β-метод в механизме деформирования резиновых деталей [Текст] / В.И. Дырда, И.К. Сенченков, А.В. Мазнецова, Т.Е. Твердохлеб // Тр. II Международного симпозиума по механике эластомеров, июнь 1997 г. – Днепропетровск: Полиграфист, 1997. – С. 204-234.

2. Булат, А.Ф. Прикладная механика упругонаследственных сред: В 4-х томах / А.Ф. Булат,

В.И. Дырда, Е.Л. Звягильский, А.С. Кобец. – Т. 1. Механика деформирования и разрушения эластомеров. – Киев: Наукова думка, 2011. – 568 с.

3. Расчет стационарных колебаний и диссипативного разогрева нелинейных вязкоупругих тел при периодическом нагружении [Текст] / И.К. Сенченков, В.И. Дырда, В.И. Козлов, О.П. Терещенко, А.Б. Мазнецова // Прикладная механика. – 1986. – 22, № 6. – С. 49-55.

4. Сенченков, И.К. Справочные коэффициенты жесткости призматических и цилиндрических виброизоляторов при сжатии и сдвиге [Текст] / И.К. Сенченков, А.Ю. Шевченко, А.В. Мазнецова // Вопросы динамики и прочности. – 1987. – Вып. 48. – С. 23-28.

5. Расчет слоистых резинометаллических виброизоляторов / В.И. Дырда, Г.Н. Голуб, А.В. Мазнецова, М.В. Мажаров; ИГТМ АН Украины. – Днепропетровск, 1989. – 11 с. – Деп. в ВИНИТИ 22.11.89, № 6987-В89.

6. Gonzalez, M.N. Influence of rubber pre-processing on the rheological behavior of SBS/Crumb rubber-modified bitumen / M.N. Gonzalez, M.H. Wagner // Annual Transactions of the Nordic Rheology Society. – 2009. – Vol. 17.

REFERENCES

1. Dyrda, V.I., Senchenkov, I.K., Maznetsova, A.V. and Tverdokhleb, T.Ye. (1997), “Universal construction-deformation parameter and β-method in deformation mechanics of rubber parts”, *Trudy II Mezhdunarodnogo simpoziuma po mekhanike elastomerov* [Proceedings of the Second International Symposium on the mechanics of elastomers], Dnepropetrovsk, Ukraine, June 23-26, pp. 204-234.

2. Bulat, A.F., Dyrda, V.I., Zvyagilskiy, Ye.L. and Kobets, A.S. (2011), *Prikladnaya mekhanika uprugo-nasledstvennykh sred. Tom 1. Mehanika deformirovaniia i razrusheniia elastomerov* [Applied mechanics of elastic-hereditary media. Vol. 1. Mechanics of deforming and breaking down of elastomers], Naukova dumka, Kiev, Ukraine.

3. Senchenkov, I.K., Dyrda, V.I., Kozlov, V.I., Tereshchenko, O.P. and Maznetsova, A.V. (1986), “Calculation of stationary vibrations and dissipative heating of nonlinear viscoelastic bodies with periodic loading”, *Applied Mechanics*, vol. 22, no. 6, pp. 49-55.

4. Senchenkov, I.K., Shevchenko, A.Yu. and Maznetsova, A.V. (1988), “Reference stiffness coefficients of prismatic and cylindric vibration isolators under compression and shear”, *Voprosy dinamiki i prochnosti*, no. 48, pp. 23-28.

5. Dyrda, V.I., Golub, G.N., Maznetsova, A.V. and Mazharov, M.V. (1989), “Calculation layered rubber vibration isolators”, *Dep. v VINITI 22.11.89, № 6987-V89.*

6. Gonzalez, M.N. and Wagner, M.H. (2009), “Influence of rubber pre-processing on the rheological behavior of SBS/Crumb rubber-modified bitumen”, *Annual Transactions of the Nordic Rheology Society*, vol. 17.

Об авторах

Дырда Виталий Илларионович, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом механики эластомерных конструкций горных машин, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина, vita.igtm@gmail.com

Сокол Сергей Петрович, канд. техн. наук, старший преподаватель Днепропетровского государственного аграрно-экономического университета (ДГАЭУ), Днепропетровск, Украина, info@dsau.dp.ua

Козуб Юрий Гордеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологий производства и профессионального образования, Луганский национальный университет им. Тараса Шевченко (ЛНУ им. Тараса Шевченко), Луганск, Украина, kosub@rambler.ru

Твердохлеб Татьяна Емельяновна, инженер, научный сотрудник отдела механики эластомерных конструкций горных машин, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, Днепропетровск, Украина, vita.igtm@gmail.com

Колбасин Александр Васильевич, кандидат технических наук, доцент, доцент Днепропетровского государственного аграрно-экономического университета (ДГАЭУ), Днепропетровск, Украина, info@dsau.dp.ua

About the authors

Dyrda Vitaly Illarionovich, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Professor, Head of Department of Elastomeric Component Mechanics in Mining Machines, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical

Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, vita.igtm@gmail.com

Sokol Sergey Petrovich, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior Teacher of Dnepropetrovsk State Agrarian and Economic University (DSAEU), Dnepropetrovsk, Ukraine, info@dsau.dp.ua

Kozub Yuriy Gordeyevich, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate Professor, Associate Professor in Department of Technology of Production and Trade Education, Taras Shevchenko National University of Lugansk (LNU), Lugansk, Ukraine, kosub@rambler.ru

Tverdokhleb Tatyana Yemelyanovna, Master of Science, Researcher of Department of Elastomeric Component Mechanics in Mining Machines, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, vita.igtm@gmail.com

Kolbasin Alexandr Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate Professor, Dnepropetrovsk State Agrarian and Economic University (DSAEU), Dnepropetrovsk, Ukraine, info@dsau.dp.ua

Анотація. Викладається методика розрахунку жорсткісних і дисипативних параметрів масивних циліндричних елементів при деформаціях монофазного стиску. Алгоритм розв'язання задачі зводиться до: вибору коефіцієнтів жорсткості; вирішення зв'язаної задачі нелінійної термов'язкопружності та розрахунку напружено-деформованого стану; побудови наближених співвідношень для розрахунку характеристик жорсткості елементів шляхом використання встановлених закономірностей; оцінкою їх точності. Експериментальним дослідженням підлягали гумові та гумометалеві суцільні та порожнисті циліндричні елементи. Такі елементи мають специфічні анізотропні властивості: жорсткості на зсув та на стиск можуть істотно різнитися. Використання таких ефектів доцільно для віброізоляції важких машин, а також для захисту будинків і споруд від вібрацій техногенного та промислового типу.

Ключові слова: напружено-деформований стан, масивні гумові елементи, жорсткісні і дисипативні параметри, коефіцієнти жорсткості

Abstract. Te article presents a technique for calculating stiffness and dissipative parameters of massive cylindrical elements under deformations of monophasic contraction. An algorithm for solving the problem is reduced to: choosing the hardness coefficients; solving related problems of nonlinear thermoviscoelasticity and calculating a stress-strain state; building approximate relations to calculate the stiffness characteristics of the elements through the use of established laws; estimating their accuracy. Experimental studies were subjected to rubber and rubber-metallic solid and hollow cylindrical elements. Such elements have specific anisotropic properties: shear stiffness and compressive stiffness may significantly differ. It is rational to use these effects for vibration insulation of heavy machinery, as well as to protect buildings and structures against technological and industrial vibrations.

Keywords: stress-strain state, massive rubber elements, stiffness and dissipative parameters, stiffness coefficients

Статья поступила в редакцию 19.03.2015
Рекомендовано к печати д-ром техн. наук В.П. Надутым