

УДК 629.7

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА ВТУЛОЧНЫХ ВИБРОИЗОЛЯТОРОВ ИЗ ПРОВОЛОЧНОГО МАТЕРИАЛА

©2011 Г. В. Лазуткин¹, Ф. В. Паровой², А. А. Тройников²

¹Самарский государственный университет путей сообщения

²Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

Рассмотрены основные вопросы производства втулок из МР. Предложен метод расчёта динамических и потребных упругогистерезисных характеристик втулочных виброизоляторов. Сформированы основные подходы к оценке технологической стабильности процессов производства и испытаний виброизоляторов.

Материал МР, проволочная спираль, заготовка, упругодемпфирующий элемент, виброизолятор, упругогистерезисные характеристики, обобщенные динамические характеристики на резонансе (ОДХр), технологическая стабильность.

Анализ литературы по вопросам применения виброизоляторов в современной технике показал, что за последние годы условия её эксплуатации заметно усложнились. Для газотурбинных авиационных двигателей и ракетно-космической техники характерно наличие широкого диапазона частот динамического возбуждения (от 1 Гц до 10 кГц), больших вибрационных, ударных и линейных ускорений (до 10^3 м/с² и более), которые зачастую носят случайный характер. Вместе с тем в процессе эксплуатации виброзащитные системы (ВС) могут находиться в условиях воздействия высоких и низких температур (от 4 до 398К), вакуума, радиации, интегрального солнечного излучения, агрессивных сред и т. п.

Поэтому цельнометаллические виброизоляторы на основе проволочного материала МР, и особенно высокочастотные виброизоляторы втулочного типа, оказываются наиболее эффективным средством поглощения интенсивных вибрационных и ударных нагрузок.

Как известно, материал МР представляет собой пористую волокнистую структуру, получаемую холодным прессованием проволочных спиралей в окончательные по форме и размерам детали. В качестве исходного материала для изготовления МР применяется металлическая проволока различных марок и диаметров, определяемых условиями работы детали из МР: температурным режимом, наличием агрессивной среды, характером приложения нагрузки.

Технологические процессы изготовления изделий из материала МР [1] основаны на навивании, дозировании и растягивании спирали до шага, равного диаметру спирали, формировании спирали в заготовку, которая помещается в пресс-форму и подвергается прессованию по форме готового изделия. Такая технология является наиболее общей для производства упругодемпфирующих элементов (УДЭ) различных типов. Так, например, изготовление УДЭ в виде цилиндров, втулок, кубиков, шайб, мембран и т. п. включает в себя следующие основные операции.

Растянутые с шагом t_u отрезки спиралей диаметром d_u , свитых из проволоки диаметром δ_u , определенным образом укладывают в коврик (рис. 1) равномерными слоями, а затем складывают в ленту по линиям а-а, б-б (рис. 2) с нахлестом, равным 0,25 от ширины ленты, соответствующей потребной высоте заготовки H_3 . Как показывает опыт СГАУ, такой нахлест обеспечивает равномерное распределение массива спиралей в ленте, устраняя ее неравномерность за счет сбегания спиралей при их укладке на границах коврика. Таким образом, ширина коврика будет составлять $2,5H_3$ (см. рис. 1) при длине коврика и ленты L_3 . Ширина ленты будет равна высоте заготовки H_3 .

Изготовленная деталь с плотностью ρ_3^* является предзаготовкой УДЭ, которую можно перемещать в технологическом пространстве для реализации последующих операций или складировать без изменения формы и размеров.

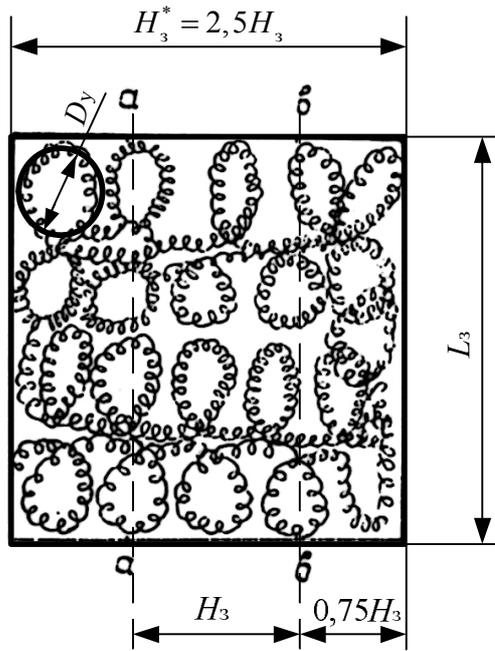


Рис. 1. Схема укладки спирали в коврик



Рис. 2. Схема формирования ленты из коврика

На следующем этапе производства УДЭ получают его заготовку с плотностью ρ_3 путем скатывания предзаготовки – ленты в рулон (рис. 3) на технологическом стержне с диаметром, близким к диаметру внутреннего отверстия в УДЭ. При этом осуществляется подпрессовка ленты от толщины h_3^* до необходимого размера h_3 (см. рис. 2), обеспечивающего заданный наружный диаметр рулона D_p . При необходимости рулон дополнительно опрессовывают обкатыванием до наружного диаметра заготовки $D_{нз}$ (см. рис. 3). Изготовленная таким образом заготовка может быть размещена в пресс-форме (рис. 4) при регламентируемых технологией незначительных изменениях ее размеров и

формы. Так, для обеспечения стабильности процесса прессования (рис. 5) наружный диаметр заготовки втулки $D_{нз}$ изготавливают обычно на (2-3)% больше внутреннего диаметра гильзы пресс-формы D_n^* , а внутренний диаметр заготовки втулки $D_{вз}$ (диаметр технологического стержня) на (2-3)% меньше внешнего диаметра иглы D_n^* пресс-формы или равным ему.

На заключительном этапе производства заготовку УДЭ, размещенную в пресс-форме, подвергают давлению прессования σ_n , получая при этом прессовку высотой H и плотностью ρ_k (рис. 5), после чего снижают давление прессования до нуля и извлекают прессовку УДЭ из пресс-формы, получая в результате готовое изделие высотой H_c и плотностью ρ_c .

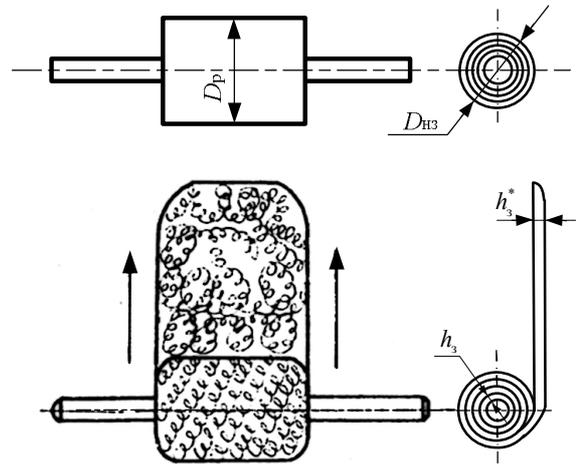


Рис. 3. Процесс скатывания ленты в рулон

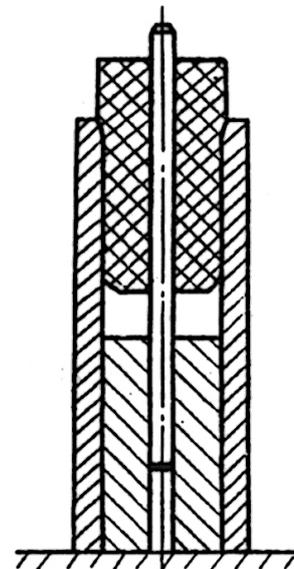


Рис. 4. Размещение заготовки в пресс-форме

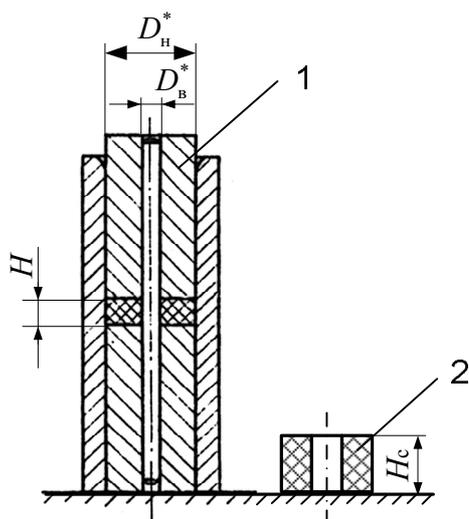


Рис. 5. Процесс прессования втулочного УДЭ:
1 – прессовка; 2 – готовый УДЭ

Свойства готовых втулочных УДЭ во многом определяются параметрами заготовок УДЭ (плотностями, высотами заготовок, их внутренними и внешними диаметрами, упругими свойствами проволок и т. п.), а также параметрами процессов прессования, связывающих давление прессования с высотами прессовок. От соотношения указанных параметров зависят упругое последствие прессовок, характеризующее упругие возможности материала МР, неравномерность распределения плотности материала по объему УДЭ и его прочностные свойства, которые определяют ресурс втулочных виброизоляторов в целом.

Выявление функциональных связей конструктивно-технологических параметров между собой на различных этапах изготовления изделий из МР является одной из са-

мых важных задач при создании методов проектирования наиболее рациональных конструкций УДЭ и технологического процесса их изготовления.

В частности, как показано в работе [2], зависимости для определения величин плотностей предзаготовки, заготовки УДЭ, прессовки, готовой втулки, можно записать в виде:

$$\rho_3^* = \frac{M_c}{L_3 H_3 h_3^*}; \rho_3 = \frac{4M_c}{\pi(D_H^2 - D_B^2) H_3};$$

$$\rho_c = \frac{4M_c}{\pi(D_H^2 - D_B^2) H_c} = \rho_3 \frac{H_3}{H_c} = \rho_k \frac{H_k}{H_c}. \quad (1)$$

где длина ленты L_3 определяется выражениями [2]

$$L_{3,c} = 0,5\pi(D_H + D_B) \left(2,22\pi \frac{\rho_3}{\rho_B} + 0,5 \right)$$

или $L_3 \cong (6-8) (D_H - D_B)$, (2)

где $\rho_B = \frac{\pi^2 \rho_u}{4d_u^2}$ - плотность витка спирали;

$\bar{d}_u = \frac{d_u}{\delta_u}$ - относительный диаметр спирали.

В первом случае более детально учитываются геометрические характеристики спирали и УДЭ, а также плотность заготовки УДЭ ρ_3 , являющейся одним из главных параметров процесса изготовления изделий из МР.

В настоящей работе освещаются некоторые вопросы проектирования виброизоляторов втулочного типа ВВ и ВП (рис. 6).

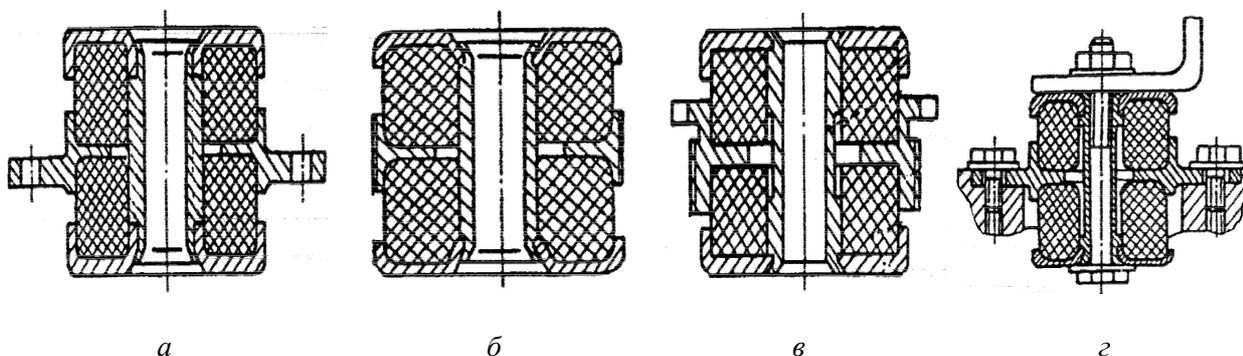


Рис. 6. Конструкции втулочных виброизоляторов типа ВВ, ВП:
виброизоляторы первого (а), второго (б) и третьего (в) поколений и схема монтажа виброизолятора третьего поколения с развитым крепёжным фланцем (г)

Основным документом при создании виброизоляторов служит техническое задание (ТЗ). Его содержание регламентируется существующей нормативно-технической документацией и охватывает комплекс технических требований, предъявляемых как к техническим характеристикам систем виброзащиты, так и к их виброизоляторам. Формирование основополагающих требований к механическим характеристикам разрабатываемой конструкции виброизолятора, как правило, осуществляется на основе теоретического анализа всех требований и ограничений, приведенных в ТЗ [3].

В процессе проектирования высокочастотных виброизоляторов втулочного типа главная роль обычно отводится выполнению требований ТЗ по вибрационным нагрузкам, с помощью которых определяются необходимые упругогистерезисных характеристик (УГХ). Выполнение же других требований ТЗ, в том числе и по ударным нагрузкам, осуществляется на основе принятия компромиссных решений.

При выборе требуемых УГХ проектируемых виброизоляторов широко применяются обобщенные динамические характеристики для резонансных режимов колебаний (ОДХр). В работе предлагается метод расчета потребных УГХ создаваемых низкочастотных виброизоляторов, основанный на:

- получении расчетных данных по ОДХр для различных типоразмеров виброизоляторов в виде зависимостей коэффициента передачи $\mu_p = \varphi_1(\xi_0)$ и безразмерной резонансной частоты $\nu_p = \varphi_2(\xi_0)$ от безразмерной амплитуды возбуждения ξ_0 (рис. 7);

- аппроксимации ОДХр в рекомендуемой рабочей зоне полиномами, дробно рациональными функциями или другими удобными для аппроксимации функциями;

- установлении расчётных рабочих зон безразмерных возбуждающих нагрузок $\{\xi_{0,1}; \xi_{0,2}\}$ в зависимости от существующих ограничений по интенсивности резонансных колебаний;

- выборе наиболее рациональной рабочей зоны виброизолятора исходя из сопоставления коэффициентов запаса расчётных рабочих зон с рекомендуемыми;

- определении требуемых значений коэффициентов подобных преобразований T_n, a_n для УГХ проектируемого виброизолятора

по заданным значениям коэффициентов передачи μ_p , резонансных частот f_p с учетом других ограничений, заданных в ТЗ, и результатов работы [4].

- выбор рациональных конструктивно-технологических параметров $z_p \forall \rho \in [1 \dots 12]$ с помощью имеющихся зависимостей $T_n = \varphi_T(z_p)$ и $a_n = \varphi_a(z_p)$ [5].

На рис. 7 для виброизоляторов втулочного типа из материала МР приведены результаты расчетов ОДХр и различных вариантов их аппроксимации при кинематическом способе возбуждения ВС массой M с постоянной амплитудой виброперемещения a_c . Заметим, что аналогичным образом можно получить зависимости и для кинематического способа возбуждения с постоянными амплитудами виброускорения, виброскорости, и более сложных законов изменения возбуждающей нагрузки от частоты, в том числе и для ШСВ [3].

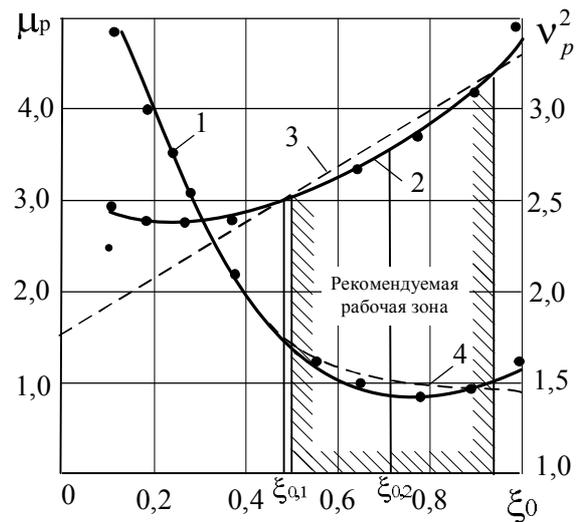


Рис. 7. ОДХр втулочных виброизоляторов:
 • - расчетные значения; 1, 2 – соответственно, аппроксимация μ_p и ν_p^2 полиномами второй степени; 3, 4 - соответственно аппроксимация μ_p полиномами первой степени и ν_p^2 - дробно-рациональной функцией

Аппроксимируя расчетные данные для втулочных виброизоляторов-прототипов (см. рис. 7) полиномами второй степени, получим

$$\begin{aligned} \mu_p &= 2,74 + 3,3(\xi_0 - 0,18)^2; \\ \nu_p^2 &= 1,37 + 4,8(\xi_0 - 0,78)^2. \end{aligned} \quad (3)$$

Учитывая подобие по УГХ проектируемых типоразмеров виброизоляторов, а также, что $\xi_0 = \frac{a_c}{a_n}$ и $v_p^2 = \frac{4\pi^2 f_p^2 M a_n}{T_n}$, где T_n и a_n - коэффициенты подобных преобразований проектируемых виброизоляторов, f_p [Гц] – заданная в ТЗ резонансная частота ВС, запишем

$$a_n = \frac{a_c}{0,18 + \sqrt{\frac{\mu_p - 2,74}{3,3}}};$$

$$T_n = \frac{4\pi^2 f_p^2 M a_n}{1,37 + 1,73 \left(1 - \sqrt{\frac{\mu_p - 2,74}{1,19}}\right)^2}. \quad (4)$$

В процессе дальнейшего проектирования необходимо согласовать конструкторские размеры УДЭ и требуемые коэффициенты подобных преобразований УГХ виброизоляторов T_n , a_n с технологическими параметрами материала МР в УДЭ.

В настоящее время методом обобщённых переменных установлены функциональные связи коэффициентов $T_n(z_p)$ и $a_n(z_p)$ с конструктивно – технологическими параметрами $z_p \in [1,12]$ УДЭ и материала МР [5] в виброизоляторах типа ВВ (ВП) (см. рис. 6).

$$a_n = K_1 \bar{\sigma}_{\text{ти}} H_c (1,1 + 0,2\bar{\Delta}_0 - 0,9\bar{\Delta}_0^2) \times \quad (5)$$

$$\times (0,64 - \bar{\rho}_c)(0,2 - \bar{\rho}_3)(20 + \bar{d}_u);$$

$$T_n = K_2 \bar{\sigma}_{\text{ти}} S (0,8 - 2,3\bar{\Delta}_0 + 3,4\bar{\Delta}_0^2) \times \quad (6)$$

$$\times (\bar{\rho}_c - 0,03)(\bar{\rho}_3 + 0,02)(23 - \bar{d}_u),$$

где K_1 и K_2 - согласующие постоянные, зависящие от способа изготовления заготовок УДЭ. Для виброизоляторов типа ВВ $K_1 = 2,02$; $K_2 = 17,6 \cdot 10^{-5}$. Для виброизоляторов типа ВП $K_1 = 2,52$; $K_2 = 13,3 \cdot 10^{-5}$ при условии выбора в формулах (5) и (6) средних значений величин $\bar{\rho}_3 = 0,0625$; $\bar{d}_u = 10$; $\bar{\sigma}_{\text{ти}} = 0,006$ и только $\bar{\rho}_c = \text{var}$.

Причем

$$\frac{\sigma_{\text{ти}}}{E_{\text{и}}} = \bar{\sigma}_{\text{ти}}; \bar{\rho}_c = \frac{\rho_c}{\rho_{\text{и}}}; \bar{\rho}_3 = \frac{\rho_3}{\rho_{\text{и}}}; \bar{d}_u = \frac{d_{\text{и}}}{\delta_{\text{и}}}; \bar{\Delta}_0 = \frac{\Delta_0}{Y_{\text{д}}}$$

При этом рациональные изменения безразмерных технологических параметров в фор-

мулах (5) и (6) и их средние значения составляют

$$\bar{\Delta}_0 = (0,6 \dots 0,4) = 0,5;$$

$$\bar{\rho}_c = (0,1 \dots 0,4) = 0,15;$$

$$\bar{\rho}_3 = (0,03 \dots 0,09) = 0,0625;$$

$$\bar{d}_u = (5 \dots 15) = 10;$$

$$\bar{\sigma}_{\text{ти}} = (0,0065 \dots 0,0055) = 0,006.$$

Одним из важных вопросов является обеспечение технологической стабильности изготавливаемых виброизоляторов и их испытаний. Перепишем формулы (3) в виде

$$\mu_p = 2,74 + 3,3 \left(\frac{a_c}{a_n} - 0,18\right)^2, \quad (7)$$

$$f_p^2 = \frac{T_n}{4\pi^2 a_n M} \left[1,37 + 4,8 \left(\frac{a_c}{a_n} - 0,78\right)^2\right]. \quad (8)$$

Воспользовавшись известным подходом (см., например, [6]) к оценке разброса значений μ_p и f_p как некоторых случайных величин, получим:

$$\Delta \mu_p = 6,6 \frac{\Delta a_n}{a_n} \left(\frac{a_c}{a_n} - 0,18\right) \sqrt{1 + \frac{a_n^2}{a_c^2}},$$

$$\Delta f_p^2 = \sqrt{(\Delta f_{p,1}^2)^2 + (\Delta f_{p,2}^2)^2 + (\Delta f_{p,3}^2)^2 + (\Delta f_{p,4}^2)^2},$$

где

$$\Delta f_{p,1}^2 = \frac{\Delta T_n}{4\pi^2 a_n M} \left[1,37 + 4,8 \left(\frac{a_c}{a_n} - 0,78\right)^2\right],$$

$$\Delta f_{p,2}^2 = -\frac{\Delta M T_n}{4\pi^2 a_n M^2} \left[1,37 + 4,8 \left(\frac{a_c}{a_n} - 0,78\right)^2\right],$$

$$\Delta f_{p,3}^2 = -\frac{\Delta a_n T_n}{4\pi^2 a_n^2 M} \left[1,37 + 4,8 \left(\frac{a_c}{a_n} - 0,78\right)^2 + 9,6 \frac{a_c}{a_n} \left(\frac{a_c}{a_n} - 0,78\right)\right],$$

$$\Delta f_{p,4}^2 = \frac{2,4 \Delta a_c T_n}{\pi^2 a_n M} \left(\frac{a_c}{a_n} - 0,78\right)^2.$$

Здесь Δa_n , ΔT_n , ΔM , Δa_c – малые отклонения величин a_n , T_n , M , a_c соответственно. Поступая аналогичным образом, можно определить с помощью формул (1), (2), (5), (6) соответствующие отклонения величин ΔT_n и Δa_n в зависимости от существующих или назначаемых допусков на параметры, входящие в вышеуказанные формулы. Полу-

ченные таким образом зависимости являются эффективным средством анализа чувствительности технологических процессов изготовления и испытаний виброизоляторов к отклонениям их параметров. Это позволяет обоснованно назначить допуски на значения величин соответствующих параметров a_c , M , H_c , ρ_z , ρ_c , d_u , δ_u и др. в зависимости от требований, предъявляемых к качеству выпускаемой продукции.

Библиографический список

1. Тройников, А.А. Вопросы технологии изготовления упруго-демпфирующих элементов из материала МР [Текст] / А.А. Тройников, А.Д. Пичугин // Вибрационная прочность и надёжность двигателей и систем летательных аппаратов: сб. науч. тр. Вып. 8. – Куйбышев: КуАИ, 1981. – С. 101-112.
2. Лазуткин, Г.В. Формирование изделий из упругодемпфирующего материала МР для агрегатов и систем транспортной техники [Текст] / Г.В. Лазуткин // Вестник транспорта Поволжья - 2010. - №4(24). – С. 82-90.

3. Лазуткин, Г.В. Динамика виброзащитных систем с конструкционным демпфированием и разработка виброизоляторов из проволоочного материала МР [Текст] / Г.В. Лазуткин. – Самара: СамГУПС. – 2010. – 291 с.

4. Тройников, А.А. К вопросу об упруго-демпфирующих свойствах материала МР [Текст] / А.А. Тройников, В.Н. Трубин, Г.В. Лазуткин // Вибрационная прочность и надёжность двигателей и систем летательных аппаратов: сб. науч. тр. Вып. 2. – Куйбышев: КуАИ, 1975. – С. 60-65.

5. Бузицкий, В.Н. Расчёт втулочных амортизаторов из материала МР, работающего на сжатие [Текст] / В.Н. Бузицкий, А.А. Тройников // Вибрационная прочность и надёжность двигателей и систем летательных аппаратов: сб. науч. тр. Вып. 3. – Куйбышев: КуАИ, 1976. – С. 15-21.

6. Фролов, Г.Н. Точность изготовления упругих элементов приборов [Текст] / Г.Н. Фролов. – М.: Машиностроение, 1966. – 176 с.

SOME QUESTIONS OF DESIGNING AND MANUFACTURE OF WIRE MATERIAL HUB DAMPFERS

©2011 G. V. Lazutkin¹, F. V. Parovay², A. A. Troynikov²

¹ Samara State University of Transport

²Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov
(National Research University)

The basic questions of manufacture of hubs from MR are considered. The method of calculation dynamic and necessary elastic-hysteresis characteristics of hub dampfers is offered. The basic approaches to an estimation of technological stability of manufacture processes and dampfer tests are generated.

MR material, wire coil, billet, elastic dampfer element, dampfer, elastic-hysteresis, generalized dynamic characteristics at resonance, technological stability.

Информация об авторах

Лазуткин Геннадий Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Инженерная графика», Самарский государственный университет путей сообщения. Тел.: 8-927-604-56-70. E-mail: ig@samiit.ru. Область научных интересов: механика.

Паровой Фёдор Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). Тел.: (846) 334-43-23. E-mail: parovai@mail.ru. Область научных интересов: конструирование и производство виброизоляторов из материала МР.

Тройников Александр Александрович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отраслевой лаборатории «Вибрационная прочность и надёжность авиационных изделий», Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика

С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). Тел.: (846) 267-46-84. E-mail: vibro-mr@mail.ru. Область научных интересов: конструирование виброизоляторов из материала МР, характеристики материала МР.

Lazutkin Gennadiy Vasilievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Samara State University of Transport. Phone: 8-927-604-56-70. E-mail: ig@samiit.ru. Area of research: Mechanics.

Parovay Fedor Vasilievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). Phone: (846) 334-43-23. E-mail: parovai@mail.ru. Area of Research: designing and manufacture of dampers from MR material.

Troynikov Alexander Alexandrovich, Candidate of Technical Sciences, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). Phone: (846) 334-43-23. E-mail: vibro-mr@mail.ru. Area of Research: designing and manufacture of dampers from MR material, characteristics of MR material.