

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЬЦЕВОГО ДЕМПФЕРА ИЗ МАТЕРИАЛА МР ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ НАГРУЖЕНИИ В ОСЕВОМ И РАДИАЛЬНОМ НАПРАВЛЕНИЯХ

© 2011 А. М. Уланов, А. В. Швецов, Ф. В. Паровай

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

Материал МР широко применяется в системах защиты от вибрации. Исследовано нагружение демпфера из МР в радиальном направлении вращающейся силой, возникающей при прецессирующем движении трубопровода или вследствие дисбаланса вала и одновременно в осевом направлении.

Вал, трубопровод, кольцевой демпфер, колебания, материал МР, жесткость, демпфирование.

Материал МР изготавливается при помощи холодного прессования проволочной спирали из нержавеющей стали. Он имеет очень высокое демпфирование, высокую прочность, стойкость к воздействию окружающей среды. Свойствами материала можно управлять в широких пределах, изменяя его относительную плотность $\bar{\rho} = \frac{\rho_{MR}}{\rho_w}$

(здесь ρ_{MR} - плотность материала МР, ρ_w - плотность материала стальной проволоки) и диаметр проволоки d_w . Кольцевые демпферы из материала МР используются для гашения колебаний трубопроводов (рис. 1) и валов (рис. 2).

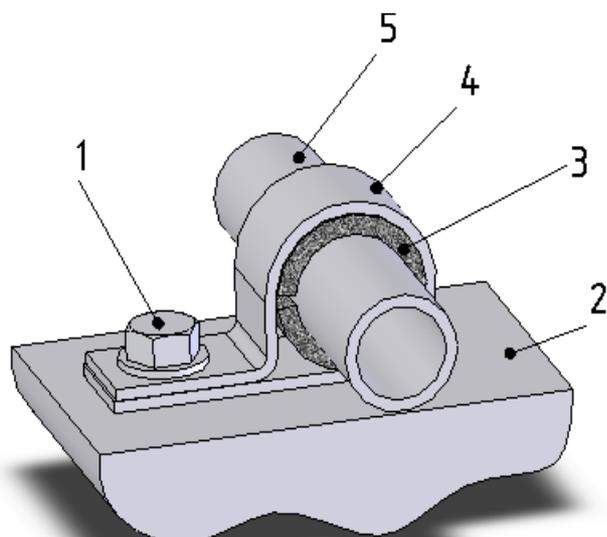


Рис. 1. Кольцевой демпфер трубопровода:
1 – болт; 2 – основание; 3 – демпфер из МР;
4 – металлический хомут; 5 – трубопровод

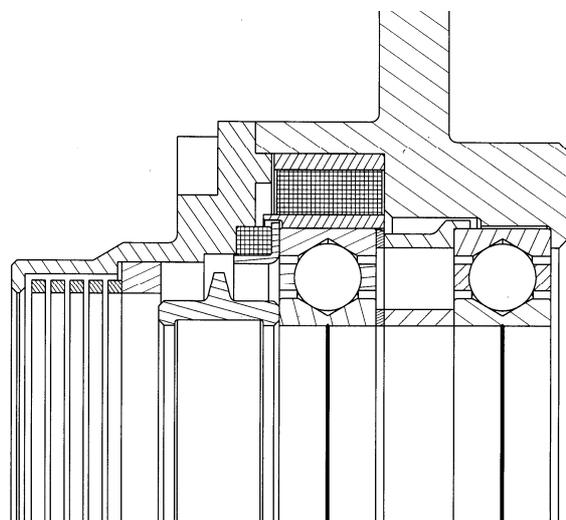


Рис. 2. Кольцевой демпфер опоры вала

На колебания трубопровода или вала оказывают влияние жесткость демпфера и коэффициент рассеивания энергии в нём. Эти величины могут быть найдены экспериментально по петле гистерезиса демпфера. В настоящей работе исследовано нагружение демпфера в радиальном направлении вращающейся силой, возникающей при прецессирующем движении трубопровода или вследствие дисбаланса вала.

Одновременно демпфер может быть нагружен в осевом направлении (за счет предварительного сжатия опоры трубопровода или осевой силы радиально-упорного подшипника для вала). Для эксперимента удобнее использовать неподвижные вал и действующую силу, а вращение вала моделировать вращением демпфера, установленного во вращающемся диске. Петли гистерезиса

зиса определялись в двух перпендикулярных направлениях X и Y, для расчетов использовались результаты, средние для двух направлений. Схема установки приведена на рис. 3.

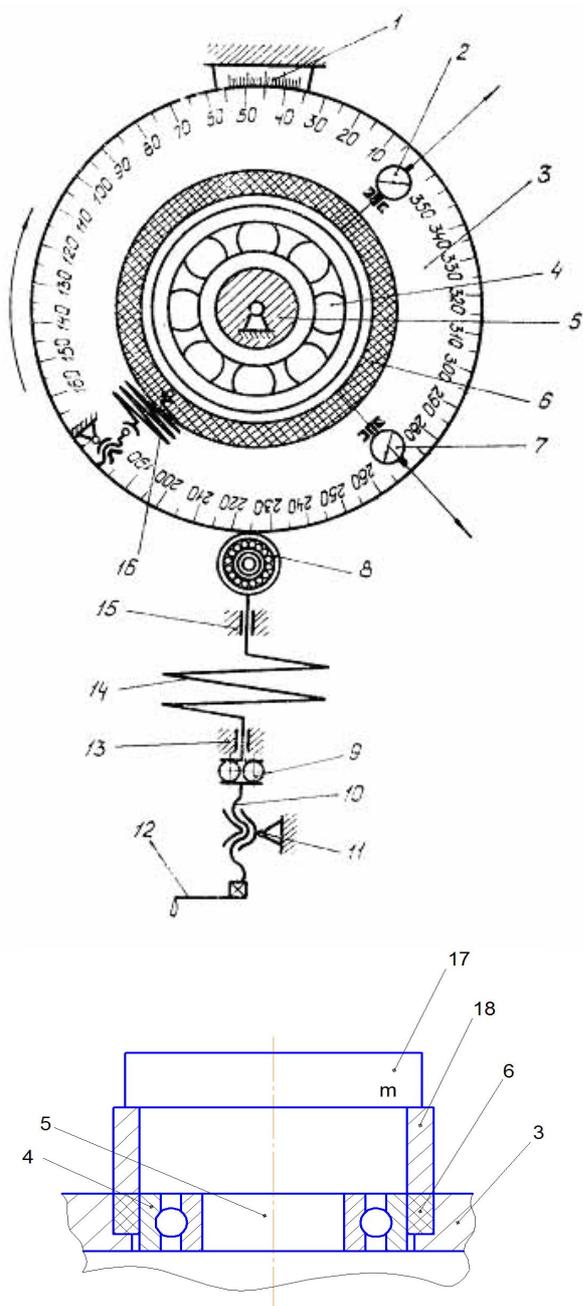


Рис. 3. Экспериментальная установка: 1 – шкала регистрации углового положения демпфера; 2, 7 – датчики перемещения; 3 – вращающийся диск; 4 – подшипник; 5 – неподвижный вал; 6 – демпфер из материала МР; 8 – подшипник, передающий нагрузку; 9, 13, 15 – опоры вала нагрузки; 10 – вал нагрузки; 11 – червячная передача; 12 – рукоятка; 14 – датчик силы; 16 – устройство для создания нагрузки, неподвижной относительно демпфера (в данном эксперименте не использовалось); 17 – стакан; 18 – масса

Исследовались кольца с внешним диаметром $D = 96$ мм, внутренним диаметром

$d = 81$ мм, высотой кольца $H = 45$ мм. При установке кольцо имело предварительную деформацию $Q = 0,5$ мм в радиальном направлении (толщина кольца после установки 7 мм). Относительная плотность материала МР $\bar{\rho} = 0,223$. Диаметр проволоки $d_w = 0.2$ мм. Прессование материала МР осуществлялось в направлении оси кольца. Нагрузка в радиальном направлении прикладывалась при помощи рукоятки 12, в осевом направлении – при помощи массы 18, действующей через стакан 17. Пример экспериментально полученной петли гистерезиса приведен на рис. 4.

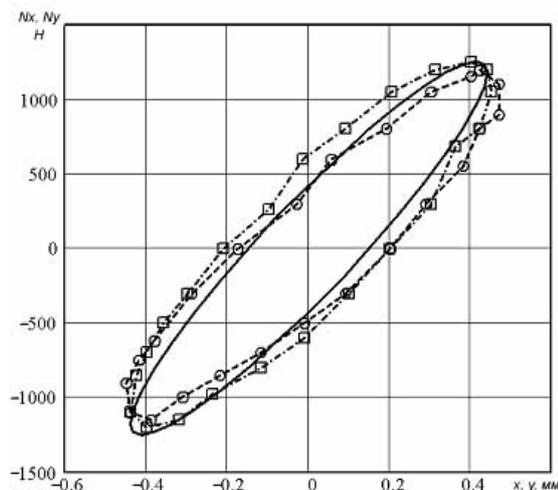


Рис. 4. Петля гистерезиса кольцевого демпфера

Петля имеет вид эллипса, что существенно облегчает расчет колебаний, так как дает возможность пользоваться уравнением колебаний линейной системы

$$m \frac{d^2 r}{dt^2} + c \frac{dr}{dt} + kr = F_v(t),$$

где m – масса вала или трубопровода; r – перемещение; c – коэффициент демпфирования; k – жесткость; F_v – сила, вызывающая колебания; t – время. Это уравнение предполагает петлю гистерезиса именно в виде эллипса.

Жесткость демпфера определялась по оси эллипса петли. Определялся также коэффициент рассеивания энергии $\Psi = \frac{\Delta P}{P}$.

Здесь ΔP – площадь петли гистерезиса демпфера, P – максимальная потенциальная энергия деформирования демпфера [1].

Установим связь коэффициента рассеивания энергии и коэффициента демпфирования. Если уравнение движения трубо-

провода или вала имеет вид $r = R \sin \omega t$, то демпфирующая сила (полуширина петли гистерезиса) равна $c \frac{dr}{dt} = cR\omega \cos \omega t$. Ее

максимальное значение равно $cR\omega$. Следовательно, площадь петли гистерезиса в виде эллипса $\Delta P = \pi cR^2 \omega$. Максимальная потенциальная энергия деформирования демпфера

$$P = \frac{kR^2}{2}. \quad \text{Следовательно,}$$

$$\Psi = \frac{2\pi cR^2 \omega}{kR^2} = \frac{2\pi c \omega}{k} \quad \text{и коэффициент демпфирования } c = \frac{\Psi k}{2\pi \omega}.$$

Полученные зависимости жесткости и коэффициента рассеивания энергии от амплитуды деформации в радиальном направлении R при отсутствии нагрузки в осевом направлении приведены на рис. 5 и 6.

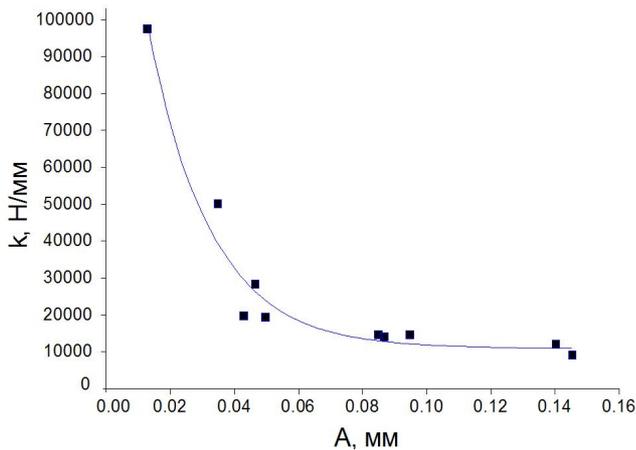


Рис. 5. Зависимость жесткости k от амплитуды деформации A

Зависимость жесткости от амплитуды деформации может быть аппроксимирована функцией $k = 145000e^{-51A} + 24000$. Зависимость коэффициента рассеивания энергии от амплитуды деформации может быть аппроксимирована функцией $\Psi = 180A - 1800A^2$ в диапазоне амплитуд $0 \leq A \leq 0,049$ мм (рис. 6,а) и функцией $\Psi = 2,72 + \frac{2,28}{1 + e^{30A-2,5}}$ в диапазоне амплитуд $0,049 \text{ мм} \leq A \leq 0,1455$ мм (рис. 6,б).

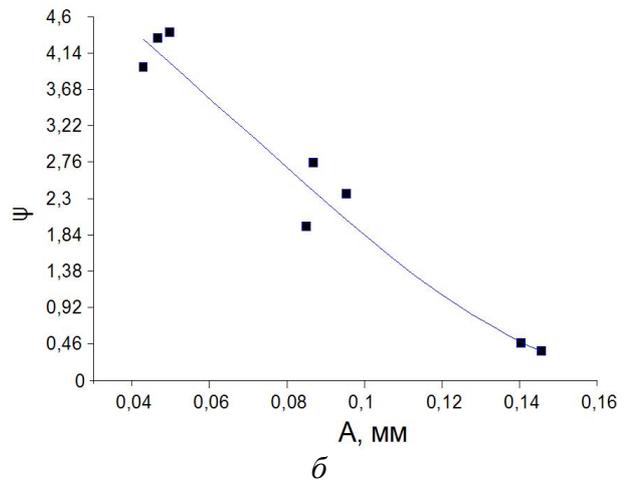
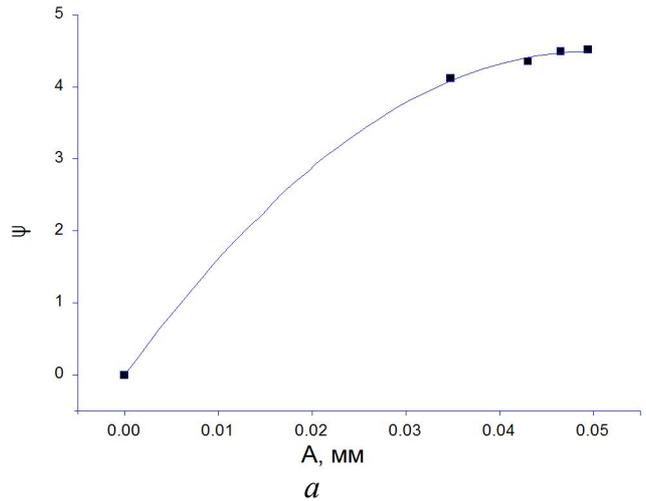


Рис. 6. Зависимость коэффициента рассеивания энергии Ψ от амплитуды деформации A

Для случая нагрузки в осевом направлении F (она изменялась в диапазоне от 0 до 1120 Н) полученные зависимости жесткости и коэффициента рассеивания энергии от нагрузки в осевом направлении (при амплитуде деформации 0.072 мм) приведены на рис. 7 и 8.

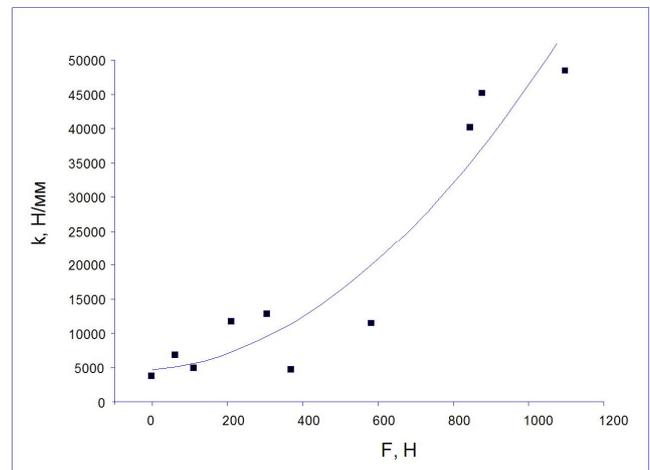


Рис. 7. Зависимость жесткости k от нагрузки в осевом направлении F

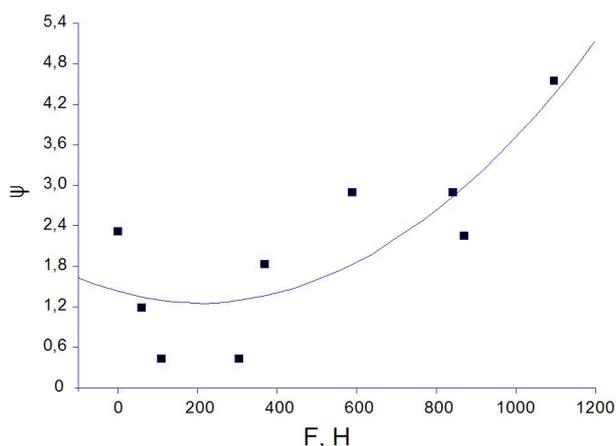


Рис. 8. Зависимость коэффициента рассеивания энергии Ψ от нагрузки в осевом направлении F

Зависимость жесткости от нагрузки в осевом направлении может быть аппроксимирована функцией

$$C = 33000 + 1,73F + 0,014F^2,$$

зависимость коэффициента рассеивания энергии от нагрузки в осевом направлении - функцией

$$\Psi = 4,37 - 0,00042F + 0,00000101F^2.$$

Увеличение жесткости с увеличением осевой нагрузки можно объяснить увеличением плотности материала МР и количества контактов проволок в материале. Зависимость коэффициента рассеивания энергии от осевой нагрузки имеет минимум. Увеличение жесткости вызывает рост потенциальной энергии деформирования (вследствие чего значение коэффициента рассеивания энергии уменьшается). Но с увеличением нагрузки увеличивается и сила трения в каждом контакте, и количество контактов проволок (вследствие чего общая сила трения, пло-

щадь петли гистерезиса и значение коэффициента рассеивания энергии увеличивается). Можно предположить, что до минимума преобладает первый процесс, после – второй.

Таким образом, создана экспериментальная установка, позволяющая исследовать жесткость и коэффициент рассеивания энергии кольцевых демпферов из материала МР при нагружении одновременно в радиальном и осевом направлениях. Полученные с ее помощью зависимости для жесткости и коэффициента рассеивания энергии позволяют рассчитывать колебания трубопроводов и валов с кольцевыми демпферами из материала МР.

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации (Минобрнауки) на основании постановления Правительства РФ №218 от 09.04.2010.

Библиографический список

1. Уланов, А.М. Учёт демпфирования при расчете упругогистерезисных систем методом конечных элементов [Текст] / А.М. Уланов, Ю.К. Пономарёв // Изв. вузов: Авиационная техника. – Казань, 2009. - № 3. - С. 5-8.
2. Уланов, А.М. Основы проектирования систем виброзащиты с упругими элементами из материала МР [Текст] / А.М. Уланов, Ю.К. Пономарёв // Изв. Самар. науч. центра РАН. – 2008. Т. 10. - № 3 (25). - С. 853-857.
3. Чегодаев, Д.Е. Демпфирование [Текст] / Д.Е. Чегодаев, Ю.К. Пономарёв. - Самара: СГАУ, 1997. – 334 с.

INVESTIGATION OF AN ANNULAR DAMPER, MADE OF MATERIAL MR IN THE CASE OF SIMULTANEOUS LOAD IN AXIAL AND RADIAL DIRECTIONS

© 2011 A. M. Ulanov, A. V. Shvetsov, F. V. Parovay

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

Material MR is widely used in systems to protect against vibration. Investigated the loading of the MR damper in the radial direction rotating force that occurs when a precessing motion of the pipe or as a result of an imbalance of the shaft and at the same time in the axial direction.

Shaft, pipe, an annular damper, vibration, material MR, stiffness, damping.

Информация об авторах

Уланов Александр Михайлович, доктор технических наук, профессор кафедры «Конструкция и проектирование двигателей летательных аппаратов», Самарского государственного аэрокосмического университета. Тел.: (846) 267-46-75, 8-917-1417335. E-mail: alexulanov@mail.ru. Область научных интересов: защита от вибрации и удара, системы с конструкционным демпфированием.

Швецов Антон Владимирович, аспирант кафедры «Конструкция и проектирование двигателей летательных аппаратов», Самарского государственного аэрокосмического университета. Тел.: (846)-267-46-75. E-mail: Ash56@inbox.ru. Область научных интересов: динамика гидравлических систем.

Паровой Фёдор Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструкция и проектирование двигателей летательных аппаратов», Тел.: (846) 334-43-23, 8-905-017-68-42. E-mail: parovai@mail.ru. Область научных интересов: свойства материала МР и технологии производства изделий из проволочного материала.

Ulanov Aleksandr Mihailovich, Doctor of Technical Sciences, professor of Aircraft Design Department, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). Phone: (846) 267-46-75, 8-917-141-73-35. E-mail alexulanov@mail.ru. Area of research: Shock and vibration protection, dry friction systems.

Shvetsov Anton Vladimirovich, postgraduate of Aircraft Design Department, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). Phone: (846)-267-46-75. E-mail Ash56@inbox.ru. Area of Research: Dynamics of hydraulic systems.

Parovay Fedor Vasilievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Aircraft Design Department, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). Phone: (846) 334-43-23, 8-905-017-68-42. E-mail: parovai@mail.ru. Area of Research: Shock and vibration protection, dry friction systems, MR.