

УДК 620.178.311

А.И.Белоусов, А.А.Тройников

ПОСТРОЕНИЕ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОЛЬНОГО НАГРУЖЕНИЯ
ИЗДЕЛИЙ ИЗ МАТЕРИАЛА МР
ДЛЯ ВИБРОЗАЩИТНЫХ СИСТЕМ Г Т Д

Модель контактного взаимодействия элементов материала МР, описывающая процесс циклического деформирования упругодемпфирующих элементов (УДЭ) [1], позволяет определять динамические характеристики виброзащитных систем на установившихся режимах эксплуатации ГТД. Однако для прогнозирования виброзащитных свойств систем подвески элементов и узлов двигателя на переходных режимах и при ударных воздействиях необходимо определить соотношения, описывающие процесс произвольного нагружения изделий из МР. Для решения этой задачи следует представить процесс циклического нагружения УДЭ в виде, позволяющем произвольно увеличить количество этапов нагружения и построить петли гистерезиса изделий из МР для любых соотношений нагрузки (Р) и деформации (У).

Следуя намеченному пути, в основу закона распределения стержневых систем [1], сохраняющих структуру заготовки УДЭ, положим равновероятностную, в трех взаимно перпендикулярных направлениях, схему [2]. Тогда в готовом изделии (после прессования заготовки) распределение стержневых систем будет определяться начальным модулем упругости материала МР [2]:

$$E_0 = C_0 E_u \sqrt[3]{d_{cp}^{10} \bar{\rho}_c}$$

При этой число систем, оседленных последовательно, составит

$$n_g = \sqrt{\frac{n_{ка} C_1 K_0}{E_0 S}}$$

а соединенных параллельно -

$$n_T = \frac{n_{KO}}{n_B},$$

где C_0 - коэффициент, учитывающий ориентацию витков;
 C_1 - начальная жесткость стержневой системы на первом этапе нагружения;

H_C, S - геометрические параметры системы;
 E_M - модуль упругости материала проволоки;

$\bar{d}_{ср}, \bar{r}_c$ - параметры УДЭ;
 $n_{KO} = \bar{n}_{KO} m_0$ - число точек контакта в ненагруженном УДЭ;
 m_0 - число витков спирали.

При деформировании образца на величину допустимой деформации, равную $y_d = 0,75 y_H$ (y_H - наибольшая деформация УДЭ), число этапов нагружения стержневой системы составит $m = 3,85$. Если расширить область допустимых деформаций до $0,835 y_H$, то число этапов составит $m = 4$. Зная число этапов нагружения и количество последовательно соединенных систем, можно определить величину зазора между элементами:

$$y_g = \frac{y_d}{n_B m}.$$

Просуммировав петли гистерезиса простейших систем, согласно принятому закону распределения, можно построить петлю гистерезиса УДЭ при его циклическом деформировании.

Процесс нагружки

$$n_i = \frac{y_g C_i n_T}{1 - \frac{3h_i}{4l_1} f} \sum_{i=1}^m i, \quad y_i = \frac{y_g}{m} i, \quad (1)$$

процесс разгрузки

$$p_j = \frac{2y_g n_T C_j f [n^3 + (n_T - n_0)]}{3n - 2 + f \sum_{j=1}^{m_1} j} \sum_{j=1}^{m_1} j,$$

$$y_i = 2f \frac{n_B y_g \sum_{i=1}^{m_1} j}{3n - 2 + f \sum_{j=1}^{m_1} j}, \quad (2)$$

где $i = 1, 2, 3, \dots, m$;

$j = 1, 2, 3, \dots, m_1$;

n, n_p, n_0 - число нерасслоенных, расслоенных и отслоенных элементов стержневой системы соответственно ;

C_j, C_i, h_i, ℓ_i, f - параметры стержневой системы ;

$$m_1 = n_p - n_0 + 1.$$

На рис. 1 приведен процесс циклического деформирования образца из МР при значениях $E_{II} = 210$ Па, $f = 0,26$. Уравнения (1), (2)

описывают "согласованную" схему включения систем, когда их первые элементы включаются в процесс деформирования одновременно. При такой схеме взаимодействия элементов построенные петли гистерезиса происходит при наименьшем числе этапов деформирования. В действительности включение первых элементов параллельно соединенных систем происходит не одновременно, а с определенным сдвигом

по деформации, зависящим от особенностей формирования структуры МР. Чем точнее учтены эти особенности, тем больше соответствия между полигональной и реальной петлями гистерезиса.

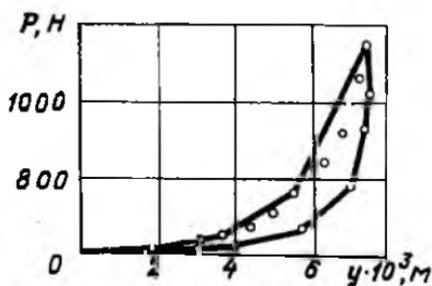
В связи с отсутствием достоверных методов определения последовательности включения элементов при деформировании УДВ сглаживание полигональной петли гистерезиса возможно лишь путем искусственного увеличения числа этапов деформирования системы, например равномерным рассогласованием параллельно соединенных систем на величину $\frac{y_2}{K}$, где $K = 1, 2, 3, \dots, n_r$ - порядок дробления этапа. Тогда число этапов нагрузочной ветви петли гистерезиса рассогласованной системы составит $Z = Km$, а разгрузочной $Z_1 = K(m-1) + 1$.

Процесс произвольного нагружения УДВ строится на основании соотношений (1), (2) с учетом равномерного закона рассогласования параллельно соединенных систем.

Процесс нагружения

$$P_\omega = K_H \frac{y_2 C_\omega n_r}{K^2 (1 - \frac{36y}{4\ell_1} f)} \sum_{\omega=1}^Z \omega, \quad (3)$$

$$y_\omega = \frac{y_2}{mK} \omega ;$$



Р и с. 1. Петля гистерезиса УДВ при согласованной схеме включения стержневых систем

процесс разгрузки

$$P_{\lambda} = K_p \frac{2y_{\beta} c_{\lambda} n_r f \left[\left(\frac{n_p}{K} \right)^3 + \left(\frac{n_p}{K} - \frac{n_0}{K} \right) \right]}{K(3n-2+f \sum_{\lambda=1}^{\lambda} \lambda)} \sum_{\lambda=1}^{\lambda} \lambda, \quad (4)$$

$$y_{\lambda} = 2f \frac{n_{\beta} y_{\beta} \sum_{\lambda=1}^{\lambda} \lambda}{K(3n-2+f \sum_{\lambda=1}^{\lambda} \lambda)};$$

процесс повторного нагружения

$$P_{\omega_1} = K_p c_{\lambda} \frac{n_r}{n_{\beta}} \left[\left(\frac{n_p}{K} - \frac{n_0}{K} \right) + \left(\frac{n}{K} \right)^3 \right] y_{\omega_1} +$$

$$+ K_H \frac{y_{\beta} c_{\omega} n_K}{K^2 \left(1 - \frac{3h\nu}{4l_1} f \right)} \sum_{\omega=1}^{\omega} \omega + P_0, \quad (5)$$

$$y_{\omega_1} = 2f \frac{n_{\beta} y_{\beta} \sum_{\omega_1=1}^{\omega_1} \omega_1}{K(3n-2+f \sum_{\omega_1=1}^{\omega_1} \omega_1)},$$

где $\nu = \frac{m\omega}{Z}$;

c_{ω}, c_{λ} - жесткости элементов при нагрузке и разгрузке УДС;

$\omega = 1, 2, 3, \dots, Z$ - номер этапа, соответствующий количеству взаимодействующих эквивалентных стержней;

K_H, K_p - поправочные коэффициенты, учитывающие отклонение принятого закона рассогласования стержневых систем от истинного;

$P_0 = P_Z - P_{\lambda}$ - остаточная нагрузка при неполной разгрузке упругого элемента

$\lambda = 1, 2, 3, \dots, Z$;

$\omega_1 = 1, 2, 3, \dots, E$;

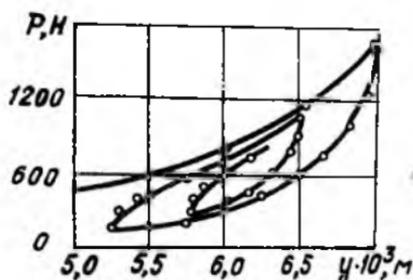
$E = E_1 + n_0$ - число этапов повторного нагружения;

E_1 - число этапов расслоения.

На рис. 2 плавной кривой описан процесс произвольного нагружения упругого элемента из МР. Он построен по зависимостям (3) - (5) при $K_H = 1,2$; $K_p = 0,85$; $K = 5$. Сопоставление результатов расчета с экспериментальными данными показывает, что принятая модель контактного взаимодействия элементов в материале при его сжатии адекватна МР по упругофрикционным характеристикам.

Для проверки соответствия полученных соотношений требованиям, предъявляемым к моделям [3], наряду с контролем размерностей, порядков, характера зависимостей (сравнения качественных выводов) был проведен контроль экспериментальных ситуаций, математической замкнутости решения и "физического смысла" конечного результата.

Установлено, что уравнения, описывающие процесс произвольного нагружения модели, позволяют однозначно решить задачу о деформировании изделий из МР и провести с достаточной степенью точности количественный анализ основных его характеристик.



Р и с. 2. Процесс произвольного нагружения МР

Л и т е р а т у р а

1. Белоусов А.И., Бузицкий В.Н., Тройников А.А. Прогнозирование упругофрикционных характеристик амортизаторов из материала МР. - В кн.: Конструкционная прочность двигателей: Тез. докл. Всесоюз. конф.-Куйбышев: КуАИ, 1980, с. 14-15.
2. Соيفер А.М. О расчетной модели материала МР. - Науч. тр. /Куйбыш. авиац. ин-т, 1967, вып. 30. Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов, с. 8-16.
3. Блехман И.И., Мылкис А.Д., Павовко Я.Г. Прикладная математика: предмет, логика, особенности подходов. - Киев: Наукова думка, 1971. - 272 с.