

обобщения экспериментальной статистики зависимости $\Delta f/f_0$ от f_0 для соответствующих классов конструкций.

Л и т е р а т у р а

1. Карасев В.А., Максимов В.П. Сидоренко М.К. Вибрационная диагностика газотурбинных двигателей.- М.: Машиностроение, 1978.
2. Костин В.И. Сравнительная оценка интенсивности вибрации с переменной во времени амплитудой эквивалентным значением виброскорости гармонических колебаний. - Проблемы прочности, 1974, № 9.
3. Случайные колебания. Сб. под ред. Кренделла. С.-М.: Мир, 1967.
4. Павлов Б.В. Акустическая диагностика механизмов.- М.: Машиностроение, 1971.

УДК 621-567.1

Ю.Н.Лапшов

ОБОБЩЕННЫЕ СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРОСОВЫХ АМОРТИЗАТОРОВ

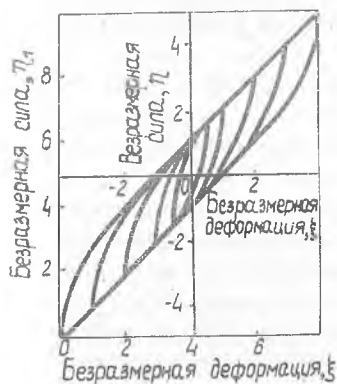
Для вибро- и удароизоляции объектов, работающих в условиях интенсивных внешних воздействий, широко используются цельнометаллические амортизаторы с демпфированием, в частности тросовые.

Тросовые амортизаторы отличаются повышенным демпфированием, статической прочностью и стойкостью к внешним воздействиям, широким диапазоном допустимых нагрузок и деформаций, незначительным изменением характеристик при действии линейных и ударных перегрузок. Стальные канаты (тросы) выпускаются отечественной промышленностью согласно ГОСТам на изготовление, что гарантирует стабильность их характеристик. Наконец, тросовые амортизаторы просты конструктивно, дешевы и технологичны в изготовлении.

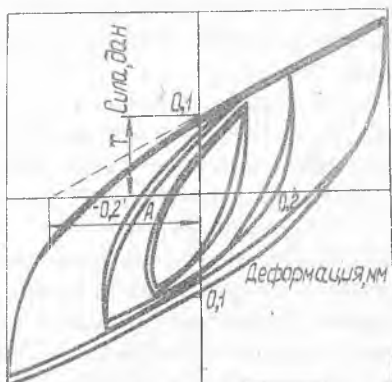
Основной недостаток известных конструкций тросовых амортизаторов – повышенное значение коэффициента динамичности в области высоких частот, поэтому они используются для изоляции объектов, обладающих повышенной вибропрочностью и стойкостью к вибрации при высоких частотах [1].

В работе рассматриваются статические и динамические характеристики тросовых амортизаторов, имеющих минимальный коэффициент динамичности во всей области рабочих частот вибраций. Полученные результаты справедливы для амортизаторов, содержащих одну или две взаимно перпендикулярные секции прямых отрезков стального каната (тросы), работающих на поперечный изгиб.

Обобщенные статические характеристики амортизаторов, подобных друг другу по упруго-демпфирующим свойствам, можно представить в виде совокупности процессов нагрузки и разгрузки, образующих единственное поле петель гистерезиса в координатах безразмерная сила – безразмерная деформация с началом координат при ненагруженном состоянии амортизатора (рис. 1).



Р и с. 1. Обобщенные статические характеристики тросовых амортизаторов



Р и с. 2. Оценка точности расчета статических характеристик

Уравнение циклической деформации таких амортизаторов имеет вид

$$\gamma = \Phi(\xi, \xi_0, \text{sign } \xi, \Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_z),$$

где $\eta = \frac{P}{T}$ - безразмерная сила; $\zeta = \frac{y}{A}$ - безразмерная деформация; $\xi_0 = \frac{y_0}{A}$ - безразмерная амплитуда деформаций; причем при $\xi = 0$ $\zeta = \xi_0$; $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_z$ - безразмерные комплексы, составленные из конструктивных и технологических параметров амортизаторов; T и A - коэффициенты подобных преобразований силы и деформации соответственно, равные значениям этих величин, отсекаемым на осях координат сила - деформация линейными процессами нагрузки и разгрузки амортизаторов при полном взаимном проскальзывании проводов в тросах (рис. 2).

Значения коэффициентов подобных преобразований связаны между собой зависимостью

$$C_p = \frac{T}{A}, \quad (I)$$

где C_p - жесткость амортизатора при полном проскальзывании проводов в тросах.

Проведенные исследования показали, что безразмерными комплексами, оказывающими существенное влияние на обобщенные статические характеристики тросовых амортизаторов, являются число проводов в каждом из отрезков троса и отношение длины отрезков к диаметру тросов.

Остальные безразмерные комплексы в пределах изменения параметров, соответствующих действующим ГОСТам на изготовление стальных проводочных канатов, не оказывают существенного влияния на статические характеристики амортизаторов.

Существует широкий класс типоразмеров тросовых амортизаторов, подобных по упруго-демпфирующим характеристикам, для которых любые процессы нагрузки или разгрузки, построенные в безразмерных координатах с началом в вершинах петель гистерезиса (рис. I) могут быть аппроксимированы с 10%-й погрешностью единственным повторным процессом, включающим все этапы постепенного проскальзывания проводов в тросах.

Таковыми качествами обладают амортизаторы, содержащие отрезки стальных канатов двойной крестовой свивки с числом проводов не менее П4 (ГОСТы 3067-66, 3068-66, 3072-71, 2172-71) и отношением длины отрезков к диаметру не менее пяти.

Указанные амортизаторы имеют незначительное демпфирование при небольших деформациях и максимально возможное - при больших, например, резонансных деформациях.

Безразмерное уравнение циклической деформации этих амортизаторов в новых координатах имеет вид

$$\eta_1 = 0,76 \xi_1 + 1,87 \sqrt[3]{\xi_1} \quad \text{при } 0 < \xi_1 < 3;$$

$$\eta_1 = \xi_1 + 2 \quad \text{при } \xi_1 > 3.$$

Переход от одних безразмерных координат к другим осуществляется для повторных процессов нагрузки или разгрузки с помощью формул

$$\eta = \eta_0 - (-1)^{\nu} \xi_1 \quad \nu = 1 \text{ при } \dot{\xi} > 0;$$

$$\eta = \eta_0 - (-1)^{\nu} \xi_1 \quad \nu = 2 \text{ при } \dot{\xi} < 0,$$

а для первичных процессов с помощью формул

$$\eta_0 = \pm \frac{\xi_1}{2};$$

$$\xi_0 = \pm \frac{\eta_1}{2}.$$

Коэффициенты подобных преобразований T и A связаны с параметрами тросовых амортизаторов и определяются с помощью эмпирических зависимостей

$$A = K \frac{E \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n J}{\ell^3} \quad \text{и} \quad T = (\ell \Delta)^{a_7}, \quad (2)$$

где K - безразмерный параметр, учитывающий тип амортизатора ($\Delta = 11,3$ для амортизаторов, содержащих одну секцию тросов, и $\Delta = 7$ для амортизаторов, содержащих две взаимно перпендикулярные секции тросов); E - модуль упругости материала проволоки троса; N - число отрезков троса в амортизаторе; n - число проволок в отрезке троса; J - момент инерции сечения проволоки троса; ℓ - длина отрезков троса.

Полученные зависимости устанавливают связь статических характеристик указанных тросовых амортизаторов с конструктивными параметрами и позволяют решать динамические задачи известными аналитическими численными методами.

В качестве примера на рис. 2 представлены расчетное и экспериментальное поля петель гистерезиса для одного из типоразмеров тросовых амортизаторов, построенное в координатах сила - деформация. Как видно из рисунка, расчетные зависимости отображают реальные процессы.

Используя значения T , A и $\omega_p = \sqrt{\frac{G_p}{m}}$ в качестве коэффициентов подобных преобразований, безразмерное дифференциальное уравнение движения осциллятора при кинематическом возбуждении можно записать

в виде

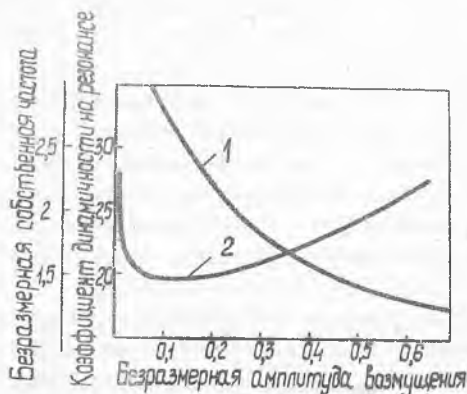
$$\frac{d^2 \xi}{d\theta^2} + \gamma(\xi, \xi_0, \text{sign } \dot{\xi}) = \bar{G},$$

(3)

а при силовом возбуждении - в виде

$$\ddot{\xi} + \gamma(\xi, \xi_0, \text{sign } \dot{\xi}) = \beta \sin K\theta + \bar{G}.$$

Здесь $\xi = \xi_y + \xi + \bar{L} \sin K\theta$ - безразмерное абсолютное перемещение амортизируемой массы; $\xi_y = \frac{y_y}{H_L}$ - безразмерное смещение центра динамического равновесия; $\bar{L} = \frac{L}{H_L}$ - безразмерная амплитуда колебаний основания; $K = \omega/\omega_p$ - безразмерная частота возбуждения; $\theta = \omega_p t$ - безразмерное время; $\bar{G} = \frac{G}{T}$ - безразмерный вес амортизируемого объекта; m - масса объекта; $\beta = \frac{F}{T}$ - безразмерная амплитуда внешней силы.



Р и с.3. зависимости коэффициента динамичности на резонансе (1) и безразмерной собственной частоты (2) от безразмерной амплитуды возмущения

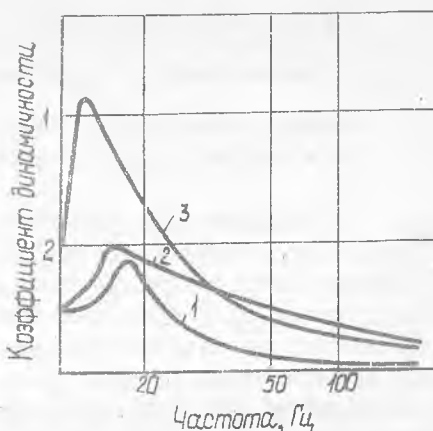
жаций в зоне рабочих настроек амортизаторов ($\bar{L} = 0,1 - 0,2$).

Приведенные обобщенные динамические характеристики, а также зависимости коэффициентов подобных преобразований от конструктивных параметров амортизаторов (1) и (2) позволяют производить проектировочный расчет тросовых амортизаторов с минимальными значениями коэффициента динамичности во всей области рабочих частот вибраций.

На рис. 3 представлены обобщенные динамические характеристики тросовых амортизаторов в виде зависимостей коэффициента динамичности на резонансе и безразмерной собственной частоты от безразмерной амплитуды возмущения, полученные в результате решения уравнения (3) методом прямой линеаризации [2].

Как видно из графиков, функция $\mu(L)$ имеет ярко выраженный минимум, лежащий

На рис. 4 приведены сравнительные графики амплитудно-частотных характеристик тросового амортизатора, параметры которого рассчитаны предложенным методом известного тросового амортизатора типа ТАГ-15 и пружинно-полиуретанового амортизатора типа РПП-5. Как видно из графиков, амортизатор, рассчитанный по предложенному методу, имеет в зоне виброизоляции коэффициент динамичности примерно в четыре раза меньший, чем у амортизатора ТАГ-15, причем коэффициент динамичности на резонансе для этого амортизатора не превышает двух.



Р и с. 4. Сравнительные графики амплитудно-частотных характеристик: 1 - тросовый амортизатор, рассчитанный по предложенной методике; 2 - тросовый амортизатор типа ТАГ-15; 3 - пружинно-полиуретановый амортизатор РПП-5

Л и т е р а т у р а

1. Карпушин В.Б. Вибрации и удары в радиоаппаратуре. - М.: Советское радио, 1971.

2. Пановко Я.Г., Страхов Г.И. Приближенное исследование вынужденных колебаний упругих систем с конструктивным демпфированием. - В сб.: Вопросы динамики и прочности. - Рига: Изд-во АН Латв. ССР, 1962.