

ния шасси для размещения ВЧ элементов — в этом случае они, соединяясь друг с другом, как бы образовывали скелет изделия. Остальные приборы, размещавшиеся ранее на шасси из алюминиевого сплава, были поставлены на шасси, изготовленные только из демпфирующего материала. Таким образом была повышена эффективность демпфирования приборов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Слободник Э. Б. Демпфирование функциональных узлов РЭА полимерными компаундами. Дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук, НИФХИ им. Л. Я. Карпова, 1973.

2. Кирилин А. А., Круглов Б. И., Слободник Э. Б., Ворошнин Г. Г., Зеленев Ю. В., Степанова И. С., Амосова Э. В., Оробченко Е. В. Расширение температурного диапазона эффективного вибродемпфирования эпоксидных компаундов. Депонированная рукопись № 3—4436. НИИЭИР, 1975.

3. Кирилин А. А., Слободник Э. Б., Ворошнин Г. Г., Зеленев Ю. В. Демпфирование резонансных вибраций элементов конструкций эпоксидными компаундами в диапазоне температур $\pm 60^\circ\text{C}$. Депонированная рукопись № 3—4399. НИИЭИР, 1975.

УДК 534.1:629.734.4:621.45.00.11

В. А. Антипов, Ю. К. Пономарев

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ УПРУГО-ФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ АНИЗОТРОПНЫХ ДЕМПФЕРОВ СУХОГО ТРЕНИЯ

В настоящее время на авиационных ГТД применяются анизотропные многослойные гофрированные кольцевые демпферы. Степень анизотропии их свойств зависит от числа пролетов демпфера, наличия шионочного паза и, главным образом, — от величины постоянной силы, действующей на демпфер.

Известно, что колебания роторов на анизотропных упруго-демпферных опорах сопровождаются возникновением областей неустойчивости и соответствующих критических скоростей «высшего рода» [1]. Такие явления приводят к увеличению вибронпряженности деталей и узлов турбомашин и к снижению надежности их работы. В связи с этим исследование анизотропии свойств демпферов, разработка рекомендаций по ее снижению является актуальной задачей, решение которой невозможно без создания специальных методов и стендов.

Рассмотрим сущность разработанного авторами метода и принципиальную схему стэнда, которые дают возможность изучать анизотропные демпферы сухого трения. Демпфер 6 (рис. 1) устанавливается в пространство между подвижной обоймой 3 и подшипником 4, который посажен на неподвижную цапфу 5, закрепленную на фундаменте. На подвижной обойме нанесена шкала для регистрации углового положения демпфера относительно произвольно выбранной точки отсчета. Для увеличения точности измерений шкала может быть снабжена лимбом 1. На подвижной обойме под углом 90° друг к другу установлены два датчика перемещений 2 и 7, которые регистрируют радиальные деформации демпфера в подвижной системе координат (Y_1 — Y_2). Для удобства исследования один из датчиков рекомендуется установить на угловой шкале против отметки «0».

На подвижной обойме устанавливается нагрузочное устройство 16, позволяющее имитировать постоянную силу, например, вес ротора. Если в качестве такого устройства применена упругая пружина, то она шарнирно крепится к подвижной обойме и наружному кольцу подшипника, чтобы не препятствовать деформации демпфера. Для имитации вращающейся составляющей внешней силы, например, силы дисбаланса ротора, демпфер нагружается дополнительным нагрузочным устройством, состоящим из пружины или динамометра 14, стойки 11 с грузовым винтом 10, направляющих 15 и 13, рукоятки для вращения грузового винта 12 и промежуточного шарикоподшипника 8. Между грузовым винтом 10 и динамометром 14 установлено устройство 9, передающее лишь осевую силу на динамометр и не передающее крутящий момент.

В отличие от метода, изложенного в работах [2], [3], нагружение демпфера в процессе экспериментального исследования предложено осуществлять в обращенном режиме в статике постоянной составляющей внешней силы G , направление действия которой зафиксировано относительно демпфера. Затем с помощью второго нагрузочного устройства демпфер нагружают силой Q и начинают поворачивать обойму вместе с демпфером вокруг оси. При этом регистрируют величины и направления действующих на демпфер сил G и Q и смещения подвижной обоймы относительно наружной обоймы подшипника в двух взаимно перпендикулярных направлениях Y_1 и Y_2 .

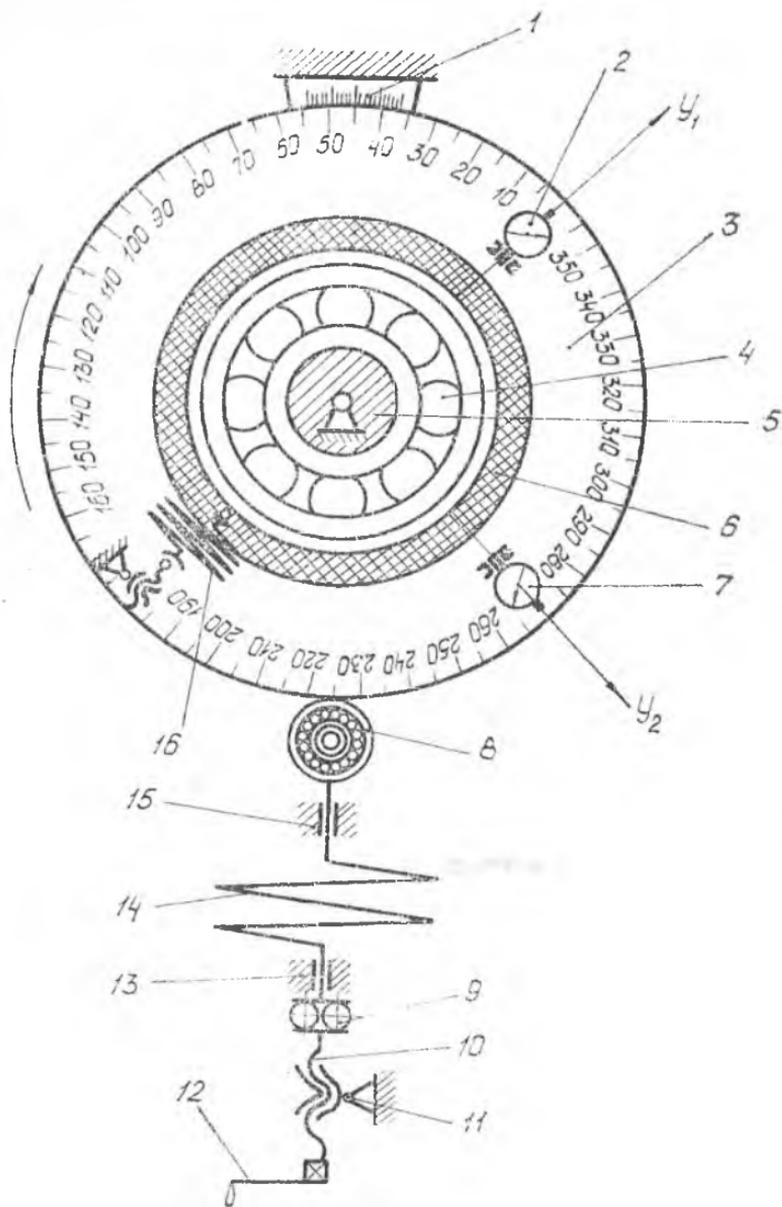


Рис. 1. Принципиальная схема стенда

Обозначим величину угла между подвижной осью Y_1 и осью действия силы Q через α (рис. 2). В этот момент показания датчиков перемещений, установленных вдоль осей Y_1 и Y_2 , составят y_1 и y_2 . Зная перемещения y_1 и y_2 , можно найти модуль вектора полной деформации демпфера $\bar{\rho}$ и его направление γ (см. рис. 2):

$$\rho = \sqrt{y_1^2 + y_2^2};$$

$$\gamma = \arctg \frac{y_2}{y_1}.$$

Для простоты расчетов постоянную составляющую G полной силы удобнее расположить вдоль оси Y_1 . Тогда модуль полной силы \bar{R} можно определить по формуле

$$R = \sqrt{G^2 + Q^2 - 2QG \cos \alpha},$$

а угол между осями действия сил \bar{R} и \bar{Q} определится в виде $\beta = \arcsin (G \sin \alpha / R)$.

Угол сдвига фаз между векторами полной силы \bar{R} и полной деформации демпфера $\bar{\rho}$ можно определить из выражения $\varphi = \beta + \alpha - \gamma$.

Тогда элементарная работа, рассеянная демпфером при его повороте относительно вектора \bar{Q} на некоторый малый угол $d\alpha$, определяется как работа момента сопротивления прецессии, созданного демпфирующей составляющей полной силы и определяемой в виде

$$R_d = R \sin \varphi.$$

Таким образом, на плече ρ

$$M_{\text{вн}} = R_d \rho,$$

при угловом перемещении демпфера на угол $d\alpha$

$$d(\Delta W) = R \sin \varphi \rho d\alpha.$$

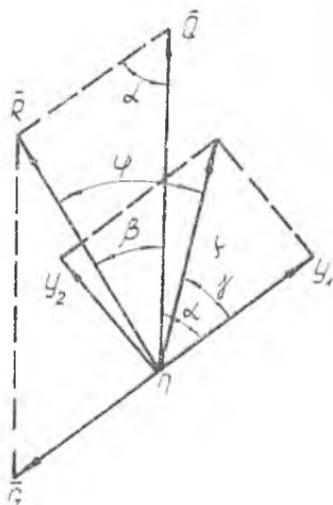


Рис. 2. Векторная диаграмма сил и перемещений

Принтегрировав выражение (1) от нуля до α , получим величину рассеянной энергии в виде

$$\Delta W = \int_0^{\alpha} R \rho \sin \varphi d\alpha.$$

Жесткость демпфера в направлении действия силы \bar{Q} можно вычислить по формуле

$$C(\alpha) = \frac{R \cos}{\rho \cdot \cos(\alpha - \gamma)}.$$

Зная распределение жесткостей по различным радиальным направлениям, можно определить степень анизотропии демпфера по жесткостным свойствам с помощью любых известных критериев анизотропии (см., например, работу [1]).

Степень анизотропии демпфера по демпфирующим свойствам можно оценить следующим образом. Пусть в эксперименте получена зависимость момента сопротивления прецессии от углового положения демпфера относительно оси действия силы \bar{Q} (рис. 3).

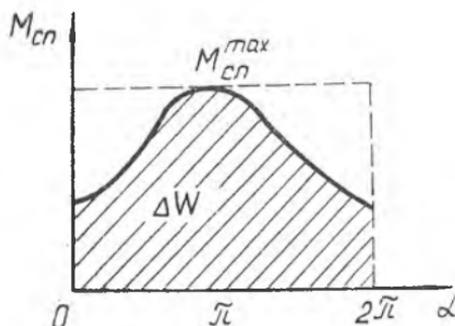


Рис. 3. График зависимости момента сопротивления прецессии от углового перемещения демпфера

Величина рассеянной за цикл энергии численно равна площади под кривой $M_{in}(\alpha)$. Таким образом, критерий анизотропии демпфера по демпфирующим свойствам можно определить в виде

$$k_d = \frac{\Delta W}{2\pi M_{сп}^{max}}. \quad (2)$$

Из выражения (2) видно — чем ближе величина k_d приближается к единице, тем изотропнее демпфер.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цырлин А. Л. Динамика роторов двойкой жесткости. В сб.: «Динамика гибких роторов». М., «Наука», 1972.
2. Иванов В. П., Шайморданов Л. Г. Установка для замера момента сопротивления прецессионному движению ротора, возникающего в демпфере. В сб.: «Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов», вып. 36. КуАИ, 1969.
3. Иванов В. П., Шайморданов Л. Г. Устройство для определения циклической энергии рассеяния в демпферах. Авторское свидетельство № 199458. «Промышленные образцы и товарные знаки», 1967, № 15.