

распределенной нагрузкой, и определена область хорошего совпадения (до 10%) экспериментальных зависимостей  $\psi(\eta)$  и  $\gamma(\eta)$  с теоретическими (при  $\eta > 2$ ).

Показано, что для любого заданного  $\eta$  зависимости коэффициента поглощения  $\psi$  и относительной средней жесткости  $\gamma$  от числа пластин  $n$  являются асимптотическими функциями, значение которых очень мало меняется с ростом числа пластин  $n$ , начиная с  $n=17$ . Кроме того, экспериментально показано, что совместное приложение постоянной и циклической сил не изменяет зависимостей  $\psi(\eta)$  и  $\gamma(\eta)$ , полученных при действии на пакет только одной циклической силы.

Исследовано влияние величины местной сдвигивающей нагрузки в зонах опор пакета  $p$ . В результате установлено, что зависимость рассеянной циклической энергии  $\Delta W(p)$  и амплитудного значения силы  $P(p)$  при постоянном перемещении  $V = \text{const}$  являются асимптотическими функциями.

Причем величина  $p^*$ , начиная с которой функции  $\Delta W(p)$  и  $P(p)$  меняются слабо, мала и может быть обеспечена простейшими средствами.

В динамическом эксперименте исследовались вынужденные колебания массы, подвешенной на многослойном пакете. Получены экспериментальные зависимости амплитуд колебаний массы от частоты при различных перегрузках. Сравнение экспериментальных резонансных значений динамического коэффициента усиления колебаний  $\mu = f(\eta)$  с расчетными, полученными методом, предложенным Я. Г. Пановко, показало хорошее совпадение экспериментальных и теоретических результатов. В расчете использовались указанные выше полуэмпирические зависимости  $\psi(\eta)$  и  $\gamma(\eta)$ .

Значительное несовпадение (в пределах 50%) наблюдалось в зоне очень малых амплитуд (меньше 0,05 мм) ввиду большой ошибки измерения.

Таким образом, доказана возможность применения предложенной методики для расчета многослойных пластинчатых демпферов.

Результаты ресурсных испытаний позволили представить качественную картину процессов, проходящих в многослойном пакете пластин при наработке, а также построить зависимости коэффициента поглощения энергии  $\psi$  и средней жесткости  $C_{\text{ср}}$  от числа циклов и установить базовое число циклов наработки при условии сохранения жестких, демпфирующих и прочностных свойств пакета в определенных, заранее заданных пределах.

Кроме того, даны рекомендации для выбора оптимальных настроек демпфера, обеспечивающих максимальный ресурс с заданными характеристиками. Исследовано влияние жидкой смазки на повышение ресурса и надежности многослойного пакета пластин. Необходимо отметить, что ресурсные испытания велись при постоянных перемещениях.

И. Д. Эскин, Ю. К. Пономарев

## ПОПЕРЕЧНЫЙ ИЗГИБ МНОГОСЛОЙНОГО МНОГОПРОЛЕТНОГО КОЛЬЦЕВОГО ДЕМПФЕРА С СУХИМ ТРЕНИЕМ НА КОНТАКТНЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ

В работе решена задача о поперечном изгибе многослойного многопролетного кольцевого демпфера. Демпфер представляет собой кольцевой пакет, состоящий из нечетного числа  $n$  одинаковых прокладок и двух одинаковых накладок, имеющих на внешних сторонах выступы. До

сборки демпфер представляет собой гофрированный многослойный пакет, вершины гофров которого упираются в выступы накладок. Сдавливающая нагрузка в пакете создана за счет выпрямления гофров при сборке в кольцевом зазоре, причем вершины гофров при выпрямлении остаются на выступах.

Кольцевые демпферы данного типа получили в настоящее время широкое распространение для гашения колебаний роторов турбомашин. Они обладают: большим коэффициентом рассеивания; широким диапазоном регулирования жесткостных и демпфирующих свойств без изменения основных геометрических размеров; небольшими габаритными размерами, что позволяет применять их в уже существующих конструкциях двигателей без больших переделок опор; простотой изготовления; являются несущими.

В основу решения демпфера положены две идеальные модели. В первой — сдавливающая нагрузка распределена равномерно по длине и высоте пакета. Во второй — сдавливающая нагрузка распределена равномерно только по длине. Закон распределения по высоте пакета определялся из условия совпадения с экспериментальными данными зависимостей коэффициента поглощения  $\psi$  и относительной средней жесткости  $\gamma$  от относительной амплитуды силы  $\eta = \frac{P}{T}$ .

Здесь  $P$  — амплитуда силы, действующей на элемент демпфера,  
 $T$  — обобщенная сила трения элемента демпфера.

Коэффициент поглощения  $\psi$  и относительная средняя жесткость  $\gamma$  определялись по формулам:

$$\psi = \frac{2\Delta W}{PV}; \quad \gamma = \frac{C_{ср}}{C_{1n}} = \frac{P}{vC_{1n}},$$

где  $\Delta W$  — энергия, рассматриваемая элементом демпфера за цикл нагружения;

$v$  — амплитудное значение прогиба элемента демпфера;

$C_{ср}$  — средняя жесткость за цикл;

$C_{1n}$  — жесткость полностью расслоенного элемента демпфера.

Задача решена методом сил. Податливости многослойных элементов демпфера определялись с помощью интеграла Мора.

Зависимости коэффициента поглощения демпфера  $\psi_d(\eta_d)$  и относительной средней жесткости демпфера  $\gamma_d(\eta_d)$  рассчитаны на ЭВЦМ для различного числа пластин.

Здесь

$$\psi_d = \frac{2\Delta W_d}{P_d v_d}; \quad \eta_d = \frac{P_d}{T_d}; \quad \gamma_d = \frac{P_d}{v_d C_{1nd}},$$

где  $\Delta W_d$  — энергия, рассеиваемая всем демпфером за цикл;

$P_d$  — амплитудное значение силы, действующей на демпфер;

$v_d$  — амплитудное значение прогиба демпфера;

$C_{1nd}$  — жесткость полностью расслоенного пакета демпфера;

$T_d$  — обобщенная сила трения демпфера.

По результатам вычислений построены графики вышеуказанных зависимостей, которые полностью характеризуют жесткостные и демпфирующие свойства демпфера и позволяют в дальнейшем решить динамическую задачу о колебаниях ротора с демпферами данного типа.