

КОНСТРУКЦИОННОЕ ДЕМПФИРОВАНИЕ

УДК 621.396.6—752.017.7

*Э. В. Амосова, Г. Г. Ворошин, А. А. Кирилин,
Б. И. Круглов, В. П. Майборода, Е. В. Ородченко,
Э. Б. Слободник, И. С. Степанова*

РАЗРАБОТКА И ИНЖЕНЕРНЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА
КОНСТРУКЦИИ С ПОЛИМЕРНЫМ
ВИБРОДЕМПФИРУЮЩИМ ПОКРЫТИЕМ

До настоящего времени существует два подхода к конструированию виброустойчивой и вибропрочной аппаратуры:

1. Демпфирующие материалы служат резервом на случай, если при испытаниях на вибрацию возникнут нарушения в работе электрической схемы или произойдет разрушение элементов конструкции.

2. Демпфирующие материалы закладываются в конструкцию в самом начале ее разработки.

При первом подходе основное внимание уделяется компоновке изделия. Предполагается при этом, что защиту от вибрации в случае необходимости можно осуществить простым увеличением числа соединений элементов конструкции с помощью винтов, постановкой изделия на амортизаторы и, наконец, введением демпфирования. Часто такая последовательность обработки изделия не дает желаемого результата: ужесточением не удается ни вывести резонансные частоты конструкции за пределы диапазона частот возбуждающих вибраций, ни снизить резонансное усиление; амортизация резонирующей конструкции не эффективна, как и демпфирование переужесточенной конструкции.

При втором подходе основное внимание уделяется именно конструктивным вопросам: выбору конструкционных матери-

алов, герметиков, электроизоляционных материалов, а с целью защиты от вибрации — выбору вибродемпфирующих материалов. Компоновка изделия подчиняется решению перечисленных вопросов.

Применение вибродемпфирующих материалов требует дополнительного веса. В авиа- и судостроении в настоящее время не возникает вопрос — где изыскать этот дополнительный вес. Применение звуко- и вибропоглощающих материалов — один из наименее дорогостоящих способов выполнения технических требований по звуко- и виброизоляции по сравнению, например, с доработкой двигателей. Однако для РЭА, устанавливаемой на движущих объектах, необходимое для применения вибродемпфирующего покрытия увеличение веса нежелательно.

Требуемый минимум дополнительного веса может быть найден при пересмотре и изменении принципиальной схемы, осуществляемой специалистами, компетентным в вопросах радиотехники (радиоэлектроники) и конструирования РЭА.

Другой источник — избыточная жесткость изделия, первоначально разработанного без применения демпфирующих материалов.

Применение демпфирующих материалов требует принципиально иного подхода к конструкции — максимального уменьшения жесткости конструктивных элементов. При умеренных линейных перегрузках (5—10) резонансные частоты недемпфированной конструкции могут лежать в диапазоне частот 50—70 Гц. При толщине демпфирующего покрытия, равной 2—3 толщинам конструктивного элемента, резонансная частота при температуре максимальной эффективности покрытия приблизительно будет равна 1,5 (50—70) Гц. Если иметь в виду, что конструкцию РЭА ужесточают до резонансных частот 300—700 Гц и выше, то можно ожидать заметную экономию веса демпфированной конструкции.

ВЫБОР ВИБРОДЕМПФИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Основной недостаток существующих вибродемпфирующих материалов — узкий диапазон температур, в котором эти материалы показывают высокую демпфирующую способность [1]. Этот диапазон не превышает обычно 30—35°C на

уровне коэффициента потерь, равном 0,3 и более при модуле упругости 10^4-10^5 кг/см².

С целью получения широкотемпературных вибродемпфирующих компаундов проводилась модификация эпоксидных компаундов холодного отверждения [2]. Оценивалось влияние наполнителей — алунда К0, талька, двуокиси титана, кварца пылевидного, нитрида бора, смолы молотой; полимеров различной химической структуры — ПВХ, ПВА, ГЭН-150, СКЭПС, СКГН-1, жидкого тинола; эпоксидных смол с различной удельной функциональностью. Только для последнего случая получено заметное расширение температурного диапазона — до 50°C, но это расширение произошло за пределами требуемого диапазона температур +60°C (рис. 1).

В работе [1] показано, что с помощью набора «узкотемпературных» компаундов (многослойного покрытия) можно значительно расширить температурный диапазон эффективного вибродемпфирования. На ЭЦВМ «Минск» проведен расчет максимальных коэффициентов потерь слоеных конструкций для различных сочетаний компаундов и толщины их слоев.

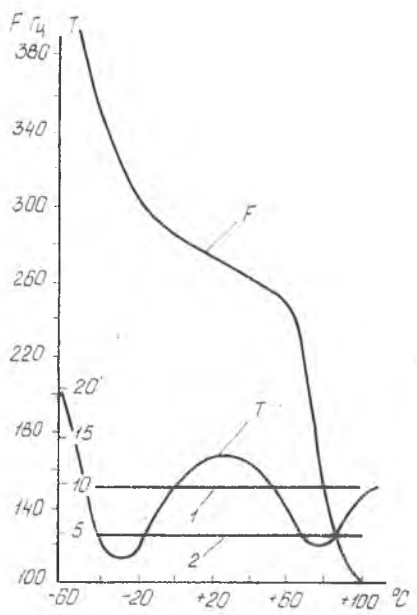


Рис. 1. Зависимость резонансного усиления T и резонансной частоты F от температуры консольно закрепленного образца из сплава АД1М, покрытого эпоксидным компаундом холодного отверждения: 1 — резонансное усиление консольной непокрытой полоски из сплава АД1М; 2 — резонансное усиление, на уровне которого оценивается температурный диапазон компаунда

В частности, коэффициент потерь трехслойной конструкции определяется по формуле

$$\gamma_1 = \frac{U_1 \gamma_{11} + U_2 \gamma_{12} + U_3 \gamma_{13} + U_4 \gamma_{14} \gamma_{15} + U_5 \gamma_{11} \gamma_{13}^2 + U_6 \gamma_{11}^2 \gamma_{12} + U_7 \gamma_{11}^2 \gamma_{15}}{Q + Q_1 \gamma_{11} \gamma_{12} + Q_2 \gamma_{11} \gamma_{15} + Q_3 \gamma_{12} \gamma_{15} + Q_4 \gamma_{12}^2 + Q_5 \gamma_{13}^2 + Q_6 \gamma_{11}^2},$$

где $U_i = \varphi_1(E_i H_i)$;

$Q_i = \varphi_2(E_i H_i)$.

Здесь E_i — модуль упругости i -го слоя (кг/см²);

γ_i — коэффициент потерь i -го слоя (безразмерный);

H_i — толщина i -го слоя, см.

В практике достаточную точность можно достигнуть при соблюдении следующих правил:

если принять в качестве оптимальной толщину однослойного покрытия, равную двум толщинам конструкционного элемента, в многослойном покрытии при таком же соотношении толщины каждого слоя к толщине конструкционного элемента компаунды следует выбирать так, чтобы их максимумы демпфирующей способности отстояли один от другого на 20° (рис. 2).

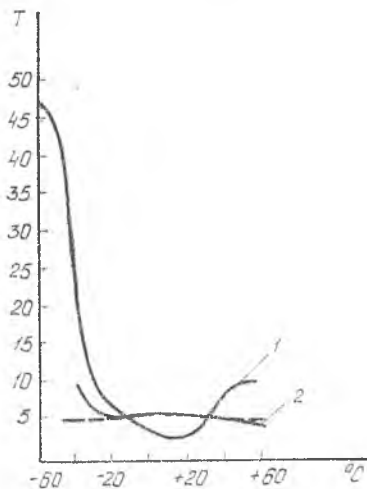


Рис. 2. Зависимость резонансного усиления T от температуры консолюдно закрепленного образца из сплава АД1М, покрытого многослойным демпфирующим покрытием из эпоксидных компаундов холодного отверждения: 1 — двухслойное покрытие; 2 — четырехслойное покрытие

В статье А. А. Кирилина, Э. Б. Слободника и др. [3] описывается способ термостабилизации узкотемпературных компаундов, когда в изделии (или покрытии) создается тот микроклимат, при котором демпфирующий материал работает наиболее эффективно. При изменении окружающей температуры от -60 до $+60^\circ\text{C}$ в изделии (демпирующем покрытии) проще всего, по-видимому, поддерживать температуру около $+60^\circ$, включая подогрев всякий раз, когда окружающая температура опускается ниже $+60^\circ\text{C}$. Например, компаунд

можно подогревать, закладывая в демпфирующее покрытие нихромовую проволоку и пропуская через нее ток. Можно приготовить *электропроводящий* вибродемпфирующий компаунд и, пропуская через него ток, разогреть его до температуры $+60^{\circ}\text{C}$. При этом рецептура компаунда должна быть подобрана так, чтобы на температуру $+60^{\circ}\text{C}$ приходился максимум демпфирующей способности компаунда (рис. 3).

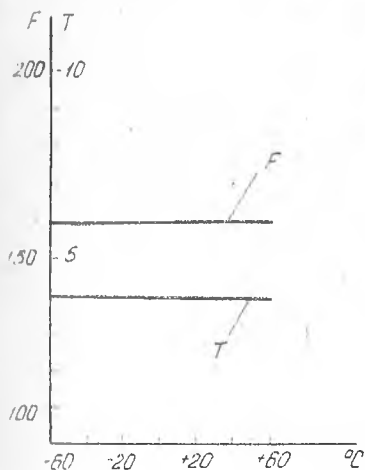


Рис. 3. Зависимость резонансного усиления T и резонансной частоты F от температуры консолюпо укрепленного образца из сплава АД1М, покрытого демпфирующим покрытием из электропроводящего эпоксидного компаунда холодного отверждения

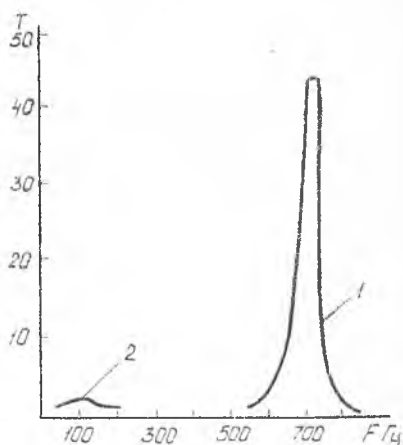


Рис. 4. Амплитудно-частотная характеристика платы: 1 — недемпфированная плата; 2 — демпфированная плата (рецептура компаунда для демпфирующего покрытия подобрана так, чтобы максимум демпфирующей способности эпоксидного компаунда холодного отверждения приходился на температуру $15-25^{\circ}\text{C}$)

На рис. 4 приведены результаты испытания платы с печатным монтажом. Перед нанесением покрытия плата была переконструирована с целью уменьшения ее жесткости: при неизменной конфигурации и точках крепления была выбрана плата меньшей толщины — $0,3$ мм вместо $1,5$ мм. Толщина демпфирующего покрытия составляла $2,5$ мм.

В другом случае была поставлена задача доработать изделие весом 20 кг таким образом, чтобы, не увеличивая его вес, снизить резонансное усиление элементов конструкции до $2\times$. В процессе доработки удалось снизить вес на 4 кг за счет утончения конструктивных элементов, отказа от использова-

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 шпоночного 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.