

Подобный алгоритм реализован на универсальной ЭВМ типа М-20 и зарекомендовал себя как надежный инструмент анализа роторной вибрации ГТД.

Л и т е р а т у р а

1. Diagnostic System Developed for F 100, «Aviation Week and Space Technology», т. 107, № 10, с. 49, 5 сентября 1977 г.
2. Введение в цифровую фильтрацию. Сб. под ред. Р. Богнера, А. Канстантинидиса. М., 1976, 216 с.
3. Вильнер П. Д., Голов Ф. В. Погрешности слеящего анализа из-за неточного задания частоты настройки. — В сб.: Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов. КуАИ, 1977, вып. 4, с. 126—130.

УДК 629.7.534.221.001.2

В. С. Бакланов

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩЕЙ ПОДВЕСКИ С УЧЕТОМ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗДЕЛИЯ И ОБЪЕКТА

В улучшении акустических характеристик современных самолетов с ТРД сыграла не последнюю роль компоновка самолета, в частности, перенос двигателей на пилоны в хвостовую часть фюзеляжа [1]. По такой схеме созданы: «Каравелла», ДС-9, ТУ-134, Боинг-727, ЯК-40, ТУ-154, ИЛ-62 — самолеты, которые выполняют огромную долю перевозок в современном воздушном транспорте.

Дальнейшее повышение требований к акустическому комфорту в пассажирском салоне заставляет искать новые пути улучшения акустических характеристик. Одним из таких путей является виброизоляция двигателя от конструкции самолета. Некоторым сторонам этой проблемы и посвящена настоящая статья.

Рассмотрим систему двигатель-подвеска-фюзеляж. Двигатель выполнит роль источника колебаний. Подвеска является передаточным элементом. Фюзеляж будем рассматривать как основание. Классическая теория виброизоляции, рассмат-

ривая такую схему, считает двигатель абсолютно жесткой массой, а фюзеляж — абсолютно жестким основанием.

Современный двигатель имеет довольно тонкие оболочки и характеризуется повышенной общей виброактивностью. Это сложная конструкция, самая простая модель которой представляет собой систему многих точечных масс, соединенных упругими безынерционными элементами. Фюзеляж также является довольно податливой конструкцией. Опытom эксплуатации подтверждено, что в колебаниях двигателя, укрепленного на пилоне, участвует и конечная масса борта фюзеляжа.

Таким образом, при проектировании действительно эффективной виброизолирующей подвески необходима модель, учитывающая реальные динамические характеристики двигателя и конструкции самолета.

Конкретный анализ динамического состояния системы производится обычно с помощью расщепления общей системы на ряд независимых подсистем; выделения каналов распространения колебаний («вибропроводов») от точек приложения сил к точкам наблюдения и описания их свойств в точках взаимодействия обобщенными динамическими характеристиками типа динамической жесткости, динамической податливости, механического импеданса, адмитанса и т. п. [2], [3].

Нами были определены динамические податливости объекта и изделия. Динамические податливости, т. е. амплитуды перемещения в направлении i -го подкоса под действием единичной гармонической силы в j -ом направлении, определялись в узлах крепления двигателя и в ответных узлах подвески на объекте. При совпадении направлений приложения силы и вызванного ею перемещения замеренная характеристика называется собственной или входной податливостью, при несовпадении направлений — переходной податливостью.

Входные характеристики податливости двигателя до частоты 35 Гц соответствуют поведению двигателя как твердого тела. В области частот 40—120 Гц наблюдается ряд резонансов, выше 120 Гц характер податливости имеет вид упругости (см. рис. 1).

Входные характеристики объекта значительно более плавные и в диапазоне 40—200 Гц указывают на пружиноподобное поведение системы.

Изменением силы возбуждения проверялась линейность систем. В исследуемом частотном диапазоне (20—300 Гц) системы могут быть признаны линейными.

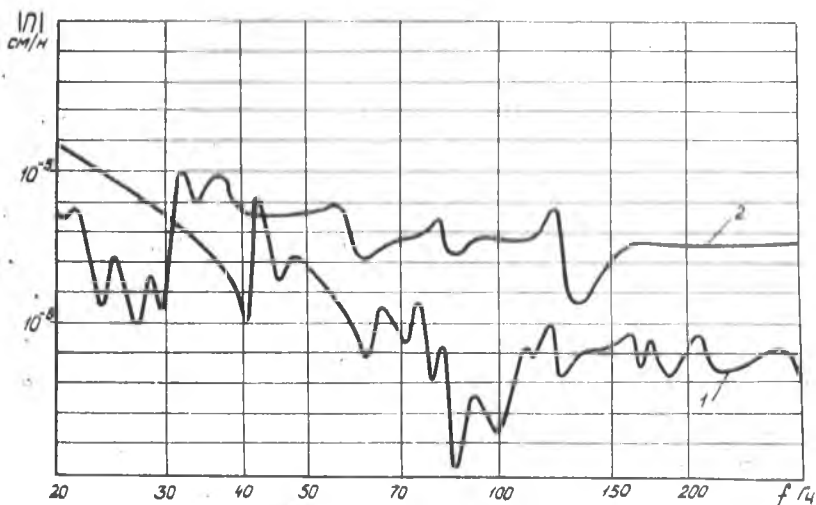


Рис. 1. Податливость (модуль) двигателя и объекта в исследуемом диапазоне частот: 1 — двигатель; 2 — фюзеляж (хвостовая часть)

Переходные податливости, как правило, меньше входных, что позволяет рассматривать, в первом приближении, отдельные узлы подвески динамически независимыми при анализе крепления двигателя на самолете.

Исходя из принятых допущений можно оценить эффективность постановки узлов виброизоляции на каждом отдельном узле подвески.

Если шарнирные стержни подвески динамически независимы, то эффективность введения амортизатора может быть представлена в виде [4]

$$\gamma_i = \left| \frac{\Pi^g + \Pi^\varphi}{\Pi^g + \Pi^\varphi + \Pi^a} \right|,$$

где Π^g , Π^φ — динамические податливости двигателя и фюзеляжа в точках крепления, Π^a — динамическая податливость амортизатора:

$$\Pi^a = \frac{1}{k + j\omega c},$$

где k — коэффициент жесткости амортизатора, c — коэффициент демпфирования амортизатора.

Уровень снижения передаваемых сил при постановке амортизатора может быть оценен следующим образом:

$$\Delta L = 20 \lg \frac{1}{|\gamma|}.$$

Это же выражение позволяет при требуемом уровне снижения сил выбрать характеристики амортизаторов для каждого узла крепления. Пусть Π^g , Π_φ — комплексные числа, а $\Pi_a = \frac{1}{k}$ (без учета демпфирования в амортизаторе) — действительное число. Обозначим $\Pi^g + \Pi_\varphi = a + b_j$, тогда

$$|\gamma| = \frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{\sqrt{\left(a + \frac{1}{k}\right)^2 + b^2}}$$

$$|\gamma| < \gamma_0 \quad (0 < \eta_0 < 1).$$

Это неравенство эквивалентно

$$\Delta L > \Delta L_0 \quad (\Delta L_0 = 20 \lg \frac{1}{\gamma_0} > 1).$$

Решение неравенства (1) дает следующее значение для жесткости амортизатора:

$$k < \frac{1}{\frac{1}{\gamma_0} \sqrt{a^2 + b^2} (1 - \gamma_0^2) - a}. \quad (2)$$

Соотношение (2) позволяет вести направленный выбор амортизаторов. В общем случае $a = a(\omega)$, $b = b(\omega)$, тогда для выполнения условия (1) в некотором частотном диапазоне $[\omega_n, \omega_k]$ необходимо, чтобы

$$k < \frac{1}{\max_{\omega \in [\omega_n, \omega_k]} \left[\frac{1}{\gamma_0} \sqrt{a^2 + b^2} (1 - \gamma_0^2) - a \right]}.$$

Полученные значения « k » дают гарантированное снижение уровня передаваемых сил во всем расчетном диапазоне. Диапазоны частот обычно выбираются, исходя из оборотов двигателя на крейсерском режиме полета самолета. Для двухконтурных двигателей, имеющих два или три ротора, вращающихся с разными скоростями, таких диапазонов два или три соответственно.

В случае, когда по конструктивным соображениям не удастся поставить амортизатор, эффективный во всех частотных диапазонах, то, учитывая вклад каждого ротора в суммарный уровень шума в салоне, выбирают такой амортизатор,

который эффективен на частоте, определяющей повышенный уровень шума.

Выполненные расчеты по реальным динамическим характеристикам двигателя и фюзеляжа показывают, что в случае высокой динамической податливости системы эксплуатационно приемлемые жесткости амортизаторов не обеспечивают необходимой эффективности снижения шума. С другой стороны, высокая динамическая податливость конструкции указывает на возможность эффективного применения упругоинерционной виброзащиты в системе подвески.

Спектральный анализ шума в салоне самолета показывает, что повышенный уровень шума обычно определяется узким диапазоном частот, что также указывает на возможность применения настроенных гасителей колебаний.

Выбор конкретной системы виброзащиты определяет соотношение динамических характеристик двигателя и объекта.

Следовательно, знание динамических характеристик двигателя в узлах крепления и в ответных узлах подвески на объекте открывает путь целенаправленного воздействия на акустические характеристики подвески.

Л и т е р а т у р а

1. Авиационная акустика. Под ред. А. Г. Мунина и В. Е. Квитки. М., «Машиностроение», 1973, 448 с.
2. Попков В. И. Виброакустическая диагностика и снижение виброактивности судовых механизмов. Л., «Судостроение», 1974, 224 с.
3. Harris C., *Crede Ch.*, Shock and Vibration Handbook, v. 1, № 4., 1961.
4. Вибрация энергетических машин. Справочное пособие. Под ред. Н. В. Григорьева. Л., «Машиностроение», 1974, 464 с.

УДК 621.317.757

В. И. Бояринцев

ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ ВЗАИМНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ВИБРАЦИИ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ГТД

Глубокое понимание физики колебательных явлений в ГТД является основной предпосылкой эффективности вибрационной доводки и диагностики двигателей. Информация о