

При подаче на систему сигнала вида

$$I(t) = A_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1) + A_2 \sin(\omega_2 t + \varphi_2)$$

на датчике D_1 наблюдалось образование комбинационной частоты. При $F_1 = 235$ Гц = const, $F_2 = 195 \div 230$ Гц в спектре сигнала с датчика D_1 наблюдалась разностная частота $F_3 = F_2 - F_1 = 5-40$ Гц, а также $F_4 = 2 F_3$, в то время, как на датчиках D_2 , D_3 и тензодатчиках разностной частоты и ее гармоник не было. Низкочастотная составляющая с вибродатчика D_1 не соответствовала реальному прогибу балки, на порядок превышая действительный прогиб. Одной из возможных причин такого несоответствия можно считать наличие нелинейности в характеристике датчика.

При исключении работы нелинейного звена W_2 путем введения в зазор между балочкой и профилем зажима фиксированной точки опоры составляющая с разностной частотой не наблюдается.

Полученные результаты представляют собой одну из попыток объяснить получаемые экспериментально эффекты повышения уровня вибраций на редукторе винта. Для окончательного решения этого вопроса планируется проведение дальнейших исследований.

Л и т е р а т у р а

1. Губарев В. В., Кан В. Г. и др. Система «Анализ-74» и ее применение к идентификации нестационарных объектов. — В сб.: Проблемы идентификации нестационарных объектов в измерительной технике. М., ЦИ ИТО ПП, 1975, с. 131—134.

УДК 629.7.054.001.57

С. В. Анисимов

АЛГОРИТМ АНАЛИЗАТОРА РОТОРНОЙ ВИБРАЦИЙ ГТД ДЛЯ БОРТОВОЙ ЭВМ

Применение бортовой ЭВМ для контроля параметров и диагностики двигателя установки самолета является эффективным средством поддержания высокого уровня надежности. Так, на современных самолетах $F-15$, $F-16$ [1] установ-

100

лена бортовая вычислительная машина, обслуживающая самолетные и двигательные системы.

Применение ЭВМ, в частности для контроля роторной вибрации ГТД, по сравнению с аналоговыми устройствами является перспективным с точки зрения стабильности обработки, удобства реализации на интегральных схемах, гибкости и совместимости с цифровой аппаратурой для передачи данных, точности и разрешающей способности [2]. Последнее особенно важно для многороторных ГТД, где требуется иметь сведения о вибрациях, вызванных каждым ротором в отдельности. В статье рассматривается алгоритм цифрового анализатора роторной вибрации ГТД для бортовой ЭВМ применительно к одному каналу измерения. При составлении алгоритма в основу были положены очевидные требования к бортовым системам контроля вибрации с учетом возможности использования анализатора как составной части средств вибрационного диагностирования.

Из наиболее важных требований можно выделить следующие.

1. Возможность анализа на переменных и постоянных режимах работы ГТД.

Требование вызвано необходимостью контроля вибрационного состояния во всем диапазоне частот вращения роторов как на переменных режимах, включая приемности, так и на постоянных, включая предписанные режимы. С точки зрения аварийной сигнализации это требование желательно, а с точки зрения диагностики технического состояния оно необходимо.

2. Возможность обработки данных в реальном масштабе времени. Требование естественно для бортовой системы и особенно важно для случая применения анализатора в качестве средства диагностирования, включенного в систему функционального диагностирования, которая позволяет немедленно реагировать на нарушение нормальной работы ГТД и поэтому дает возможность принять своевременные меры по предотвращению аварийной ситуации.

3. Высокая разрешающая способность при выделении роторных компонент вибрации. Требование важно для контроля вибрации многороторных ГТД, где появляется возможность контроля вибрации, вызванной каждым ротором в отдельности. При этом снижается вероятность ложной «тревоги». С точки зрения диагностирования появляется возможность оценки состояния каждого ротора.

Следует отметить, что к бортовым системам предъявляется целый ряд других специфических требований, которые выходят за рамки данной статьи.

Выполнение первого из рассматриваемых требований — возможность анализа на переменных режимах работы ГТД — обеспечивается применением алгоритма следящего анализа. Принципиально алгоритм такой же, как в работе [3].

Амплитуда вибрации Y вычисляется по значениям синусной A и косинусной B составляющих сигнала вибродатчика:

$$Y_k = \sqrt{A_k^2 + B_k^2}. \quad (1)$$

В выражении (1)

$$A_k = G \sum_{i=1}^k \exp[(i-k)R] f_i S(i); \quad (2)$$

$$B_k = G \sum_{i=1}^k \exp[(i-k)R] f_i C(i), \quad (3)$$

где i — текущий номер расчетной точки;

k — номер фиксированной расчетной точки;

R — коэффициент постоянной времени;

G — нормирующая постоянная;

f_i — дискретное значение сигнала вибродатчика;

$S(i)$, $C(i)$ — дискретные значения синусной и косинусной составляющих опорного сигнала.

Формулу (2) или (3) можно переписать в виде

$$A_k = A_{k-1} \exp(-R) + G f_k S(k). \quad (4)$$

Из выражения (4) видно, что каждое последующее значение величины A или B представляет собой предшествующее ее значение, измененное на величину второго слагаемого, в которое входят значения величин ординат вибрационного и опорного сигналов очередной расчетной точки. Другими словами, алгоритм обладает свойством рекурсивности. Это важное условие для реализации обработки в реальном масштабе времени.

В работе [3] показано, что разрешающая способность следящего анализа во многом определяется точностью поддержания соответствия частоты опорного сигнала $S(i)$ и $C(i)$ (зависимости (2), (3) частоте вращения ротора ГТД. С целью повышения точности формирования опорного сигнала применяется индукционный датчик с индуктором, который обеспечивает отметки углового положения ротора в виде импульсов напряжения в сигнале датчика. Опорный сигнал формирует-

ся в дискретном виде, каждый его отсчет берется по сигналу отметки углового положения ротора. Эти положения зафиксированы на роторе и заранее известны, поэтому им присваиваются также заранее вычисленные значения синусоидального сигнала. Проверкой работы фильтра на модельных сигналах установлено, что для обеспечения достаточной точности на переменных режимах работы ГТД достаточно представить непрерывный опорный сигнал восьмью дискретными значениями в течении оборота ротора, т. е. равномерно через 45° на окружности. Восьмь этих значений можно сформировать комбинацией трех фиксированных значений синусоидальной функции для углов $0, 45, 90^\circ$ с учетом знака.

Тогда составляющие опорного сигнала $S(i)$ и $C(i)$ представляют собой следующие выражения:

$$\left. \begin{aligned} S(i) &= Z(i) \Theta_{L(i)}; \\ C(i) &= Z(i+2) \Theta_{L(i+2)}, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где $\Theta_{L(i)}$ — постоянные значения опорной функции на фиксированных угловых положениях ротора. В данном случае для 0° — $\Theta_1 = 0,00$; для 45° — $\Theta_2 = 0,707$; для 90° — $\Theta_3 = 1,0$; $Z(i)$ — определяет знак при функции опорного сигнала:

$$Z(i) = (-1)^{\left[2 + \text{entier} \left(\frac{i-1}{4} \right) \right]};$$

$L(i)$ — функция выбора фиксированных значений опорного сигнала:

$$L(i) = 3 - \text{abs} \left(3 - \left[i - 4 \text{entier} \left(\frac{i-4}{4} \right) \right] \right);$$

abs , entier — функции взятия абсолютной величины и модуля числа. Функции $L(i)$, $Z(i)$ и $S(i)$ изображены на рис. 1.

Замена вычислений функций синуса и косинуса в опорном сигнале зависимостью (5) дает существенную экономию времени вычислений.

Отметки углового положения ротора одновременно с формированием опорного сигнала служат для считывания значений ординат непрерывного сигнала вибродатчика и получения его в дискретном виде (рис. 2).

Таким образом, имеются дискретные значения опорного сигнала $S(i)$ и $C(i)$, привязанные к фиксированным угловым положениям ротора и соответствующие им дискретные значения сигнала вибродатчика f_i (зависимости (2), (3)). Так осуществляется постоянное соответствие частоты опорного сигнала частоте вращения ротора.

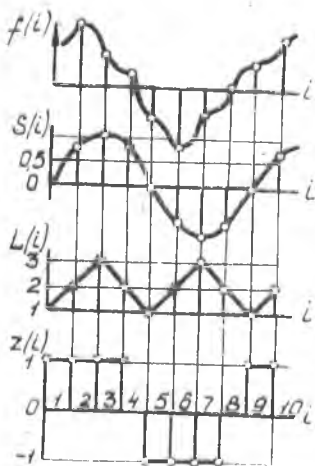


Рис. 1. Функции в алгоритме анализа

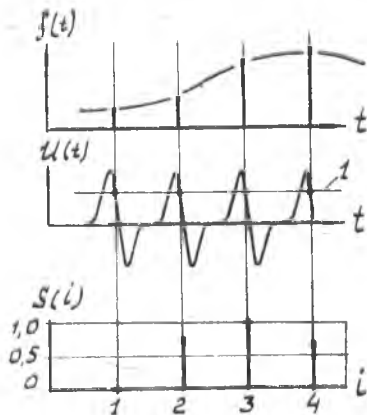


Рис. 2. Получение дискретных отсчетов сигнала вибродатчика: t — текущее время; i — текущий номер расчетной точки; $f(t)$ — непрерывный сигнал вибродатчика; $U(t)$ — сигнал индукционного датчика; $S(i)$ — составляющая опорного сигнала; I — пороговый уровень

Этим достигается необходимая точность анализа, при которой можно получить высокую разрешающую способность порядка 1% и менее от частоты анализируемой гармоники сигнала, не опасаясь существенных ошибок.

Следует отметить, что каждое дискретное значение сигнала вибродатчика является расчетным, т. е. представляет собой полезную информацию. Таким образом, на стадии кодирования непрерывного сигнала вибродатчика осуществляется эффективное сжатие поступающей информации, что также является положительным качеством алгоритма.

Итак, описанный алгоритм удовлетворяет поставленным требованиям, т. е. обеспечивает: возможность обработки на переменных режимах работы ГТД, благодаря применению алгоритма следащего анализа; измерения в реальном масштабе времени, благодаря замене вычислений $\sin x$ и $\cos x$ на зависимость (5) и сжатию информации на стадии кодирования; высокую разрешающую способность, благодаря точности формирования опорного сигнала.

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-