

ВИБРОДИАГНОСТИКА ГТД

УДК 534.647:629.7.035.001.4

В. И. Андреев, В. В. Булашов, Б. В. Гольдфайн,
Н. А. Губайдулин, В. В. Губарев, В. Г. Кан,
Л. Я. Ушеренко, Ш. У. Фурман, И. М. Шмерлин

ВЛИЯНИЕ НЕЛИНЕЙНОСТИ СИСТЕМЫ С ВЫСОКОЧАСТОТНЫМИ РЕЗОНАНСАМИ НА НИЗКОЧАСТОТНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ ВИБРАЦИИ

В ряде случаев при вибрографировании турбовинтового двигателя как на испытательном стенде, так и на самолете, на редукторе винта обнаруживались повышенные уровни вибрации с частотой лопастной гармоникой воздушного винта. При этом виброскорость на частоте, близкой к лопастной гармонике, достигала $V = 100$, а иногда и 200—250 мм/с. Замер проводился с использованием вибропреобразователя ИС-318 с аппаратурой ПИВ-3 или аналогичной ей с записью на шлейфовый осциллограф. При анализе использовался также треть-октавный анализатор *FSP-80*. Попытки снизить уровень лопастной гармоникой на редукторе винта заменой винта, перестановкой двигателей на самолете, изменением частотных характеристик стенда и т. п. успеха обычно не имели. Были случаи весьма нестабильного характера уровня лопастной гармоникой, который отличался от запуска к запуску в 2—3 раза. Возникла задача: выяснить причины, лежащие в основе указанного явления. Надо отметить, что при перестройке системы регулирования на взлетный режим, характеризуемый увеличенными оборотами винта, уровень низкочастотных составляющих неизменно снижался. Это обстоятельство позволило искать решение задачи в изучении резонансных явлений в высокочастотной области с помощью цифровой системы «Анализ-74» [1].

Сигнал от пьезодатчика с согласующим устройством подвергался дискретизации с частотой 32 кГц и зонами по 16384 отсчета записывался на выносной накопитель ЭЦВМ «Минск-32». С помощью программы БПФЛК вычислялся автоспектр вибросигналов для двух режимов: номинального и 0,4 Ne.

Примеры полученных спектров приведены на рис. 1. На схеме изображены основные составляющие виброскорости

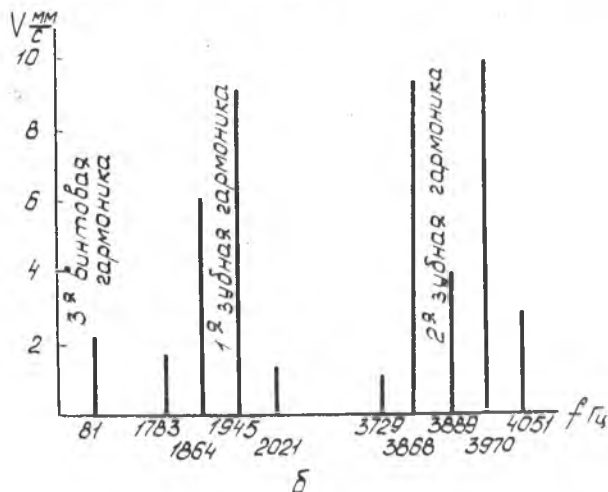
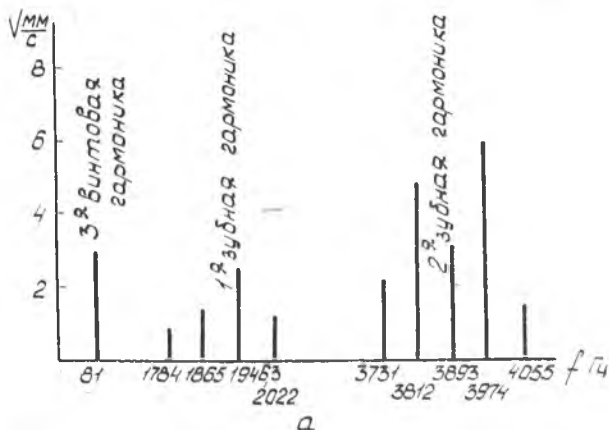


Рис. 1. Спектр вибраций корпуса редуктора вилта:
а — режим 0,4 Ne; б — режим 1,0 Ne

корпуса редуктора винта. Из рисунка видно, что боковые составляющие 1-й и 2-й зубных гармоник отстоят друг от друга и от основной частоты точно на частоту 3-й винтовой гармоники. При этом боковые составляющие с разностной частотой между второй и третьей винтовыми гармониками по уровню превосходят основную частоту на режиме 0,4 номинала, особенно на номинальном режиме. Наличие трехсателлитного планетарного механизма в редукторе винта позволяет сделать вывод, что в первом приближении здесь имеет место амплитудная модуляция первой и, особенно, второй зубных гармоник сигналом, возбуждаемым сателлитами.

На приводимой ниже резонансной диаграмме (рис. 2), снятой на динамике, видно одновременное возбуждение двух форм с частотами: f_2 — частота первой зубной гармоники; f_4 — частота второй зубной гармоники (на крейсерских длительных режимах, где обороты винта $n = 1620$ 1/мин.).

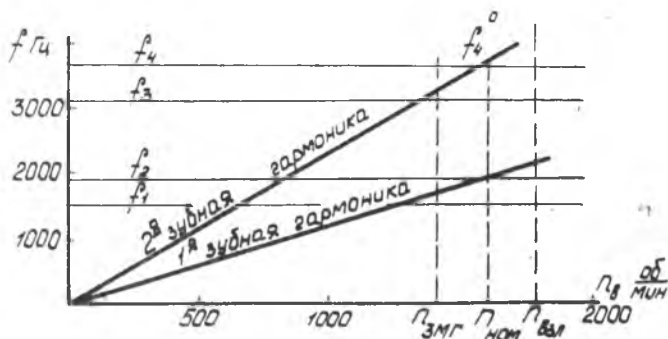


Рис. 2. Резонансная диаграмма корпуса редуктора винта

При наличии резонансного усиления в области зубных частот и последующего нелинейного преобразования сигнала можно предположить образование в спектре вибросигнала низкочастотных составляющих с частотами, равными частоте прохождения сателлитов, т. е. частоте 3-й винтовой гармоники. Это приводит к тому, что на лопастную гармонику винта будет наложен сигнал от планетарного механизма, т. е. может иметь место эффект увеличения значений этих низкочастотных составляющих спектра вибросигнала (виброскорости третьей винтовой гармоники).

Для объяснения данного эффекта и экспериментального подтверждения его была рассмотрена структурная модель

системы, в которой могут иметь место сходные явления. Проведено ее исследование с помощью натурной модели.

Модель вышеописанной системы можно представить в виде последовательно соединенных звеньев с высокочастотным резонансом и нелинейностью (рис. 3), где W_1 — звено с резонансом на частотах, близких к зубной f_3 или $(u) 2f_3$, W_2 — нелинейное звено.

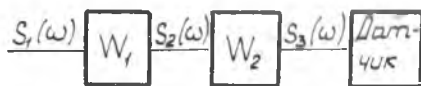


Рис. 3. Структурная модель системы: W_1 — звено с резонансом; W_2 — звено с нелинейностью

При прохождении сигнала через нелинейную систему, как известно, происходит образование комбинационных частот, значения которых зависят от вида нелинейности и спектров входных сигналов, т. е. частот вида $F_1 - F_2$, $2F_1 - F_2$, $2F_2 - F_1$ и т. д., где F_1 , F_2 — частоты в спектре входного сигнала. В нашем случае $F_1 = f_3 + f_c$, $F_2 = f_3$, $F_1 - F_2 = f_c$, f_c — частота прохождения спутника, причем амплитуда составляющих с частотами f_3 ; $2f_3$ в спектре S_3 (см. рис. 3) сильно зависит от амплитуд гармоник частоты f_3 ; $f_3 + f_c$ и добротности резонанса звена W_1 . Следовательно, возможно значительное увеличение амплитуд гармоник частот f_c и $2f_c$ при резонансном усилении на частотах, близких к f_3 и (или) $2f_3$.

Для выяснения явлений, происходящих в нелинейных элементах конструкции, был проведен ряд исследований на физической модели (рис. 4).

Точка закрепления балки в зажиме может перемещаться. Нелинейность создается за счет переменного контакта между зажимом и балкой в месте профилированной поверхности.

Вся система крепится на столе динамика ВЭДС-200, с помощью которого она приводится в движение. На столе, зажиме и балке с помощью эпоксидного клея установлены вибродатчики типа ИС-313А. На балке наклеены два тензодатчика с базой 5 мм.

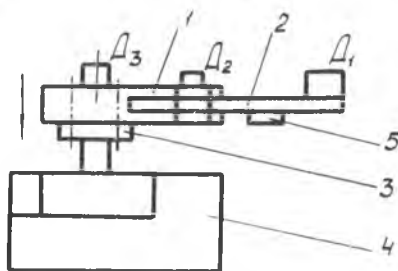


Рис. 4. Модель нелинейной системы: 1 — зажим, 2 — балка, 3 — стол, 4 — вибростенд ВЭДС-200, 5 — тензодатчик

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