

2. Дж.Коллинз. Повреждение материалов в конструкциях. Анализ, предсказание, предотвращение. - М.:Мир, 1984. - 624 с.
3. Когаев В.И. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. - М.: Машиностроение, 1977. - 232 с.
4. Гусев А.С., Светлицкий В.А. Расчет конструкций при случайных воздействиях. - М.: Машиностроение, 1984. - 240 с.
5. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов.- М.: Мир, 1971. - 408 с.

УДК 629.735.017.1.004.64

В.С.Бакланов, В.М.Вуль

ВИБРОДИАГНОСТИКА АГРЕГАТОВ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ВИБРАЦИИ ДВИГАТЕЛЯ

В настоящей работе рассмотрен один из путей повышения информативности существующей системы виброконтроля двигателя для оценки состояния закрепленной на его корпусе коробки приводов.

Виброприемники системы контроля вибрации двигателя устанавливаются, как правило, на его корпусе в районе опор роторов. Они фиксируют общий уровень вибрации корпуса, обусловленной в основном вибрацией роторов двигателя.

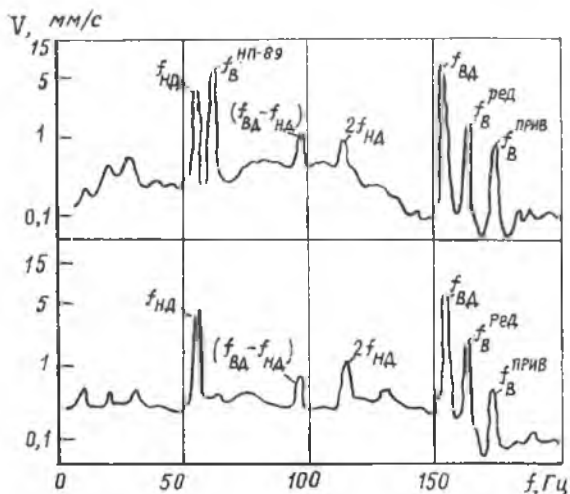
Спектральный анализ вибрационного процесса на корпусе двигателя показывает, что, кроме основных составляющих, соответствующих частотам вращения роторов двигателя, в спектре наблюдаются и другие дискретные составляющие, существенно превышающие вибрационный фон.

Идентификация спектров вибрации корпуса двухконтурного двигателя средней тяги позволила установить зависимость отдельных составляющих спектра от условий эксплуатации коробки приводов (вертикального вала привода и основного вала редуктора) и гидронасосов (рис. 1).

В спектре вибрации корпуса двигателя составляющая на частоте работы какого-либо агрегата $V_g(\omega_{agr})$ определяется уровнем его вибрации $V_{agr}(\omega_{agr})$ и некоторым коэффициентом $k_v(\omega_{agr})$, характеризующим связь этого агрегата и корпуса двигателя в месте установки штатного датчика:

$$V_g(\omega_{agr}) = k_v(\omega_{agr}) V_{agr}(\omega_{agr}). \quad (I)$$

Раскроем смысл коэффициента связи между вибрацией агрегата и вибрацией корпуса двигателя в месте установки штатного датчика, напри-



Р и с. 1. Спектрограммы вибрации корпуса двух-контурного ТРДД с гидронасосом на коробке приводов (а) и без него (б)

мер на задней опоре двигателя. С учетом динамических податливостей конструкции двигателя и самолета виброперемещение в какой-либо общей точке i будет [1]

$$x_g^i = \sum_{k=1}^n \Pi_g^{ki} F_g^k + \Pi_g^{ii} R_g^i;$$

$$x_c^i = \Pi_c^{ii} R_c^i,$$

где F_g^k - совокупность возмущающих сил, возникающих при работе двигателя; Π_g^{ki} - переходные податливости (вибропроводимости) конструкции двигателя от k -х точек приложения возмущающих сил до i -й точки корпуса двигателя; Π_g^{ii} , Π_c^{ii} - собственные динамические податливости соответственно двигателя и самолета в месте крепления i -го узла подвески; R_g^i , R_c^i - реакции со стороны i -го узла крепления соответственно на двигатель и самолет.

Учитывая, что для жесткого крепления двигателя $R_g^i = -R_c^i$, $x_g^i = x_c^i$ получим

$$x_g^i \left(1 + \frac{\Pi_g^{ii}}{\Pi_c^{ii}} \right) = \sum_{k=1}^n \Pi_g^{ki} F_g^k.$$

Последнее выражение для отдельной вибрационной составляющей, характеризующей возмущающее воздействие какого-либо агрегата в районе задней опоры (30) на частоте работы этого агрегата, может быть записано так:

$$x_g^{30}(\omega_{agr}) \left[1 + \frac{\Pi_g^{30}(\omega_{agr})}{\Pi_c^{30}(\omega_{agr})} \right] = \Pi_g^{agr30}(\omega_{agr}) F_{agr}(\omega_{agr}). \quad (2)$$

Здесь $\Pi_g^{agr30}(\omega_{agr})$ - вибропроводимость корпуса двигателя от места установки агрегата до штатного виброприемника на задней опоре двигателя; $F_{agr}(\omega_{agr})$ - сила возмущающего воздействия агрегата, которую можно представить в виде $F_{agr}(\omega_{agr}) = G_{agr} n(G_{agr})$ - вес агрегата; $n = \frac{a_{agr}(\omega_{agr})}{g}$ - виброускорение, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Подставляя последние соотношения в (2) и выражая виброперемещение и виброускорение через виброскорости, определим уровень вибрации корпуса двигателя на частоте работы агрегата:

$$V_g^{30}(\omega_{agr}) = (2\pi f)^2 m_{agr} \Pi_g^{agr30}(\omega_{agr}) k_n(\omega_{agr}) V_{agr}(\omega_{agr}), \quad (3)$$

где $m_{agr} = \frac{G_{agr}}{g}$ - масса агрегата;

$$k_n(\omega_{agr}) = \frac{1}{1 + \frac{\Pi_g^{30}(\omega_{agr})}{\Pi_c^{30}(\omega_{agr})}} \quad - \text{коэффициент, характеризующий соотношение динамических податливостей двигателя и самолета в месте установки штатного датчика.}$$

Приравнивая (1) к (3), получаем

$$k_V(\omega_{agr}) = (2\pi f)^2 f_{agr}^2 m_{agr} \Pi_g^{agr30}(\omega_{agr}) k_n(\omega_{agr}).$$

Таким образом, коэффициент связи уровня отдельных составляющих спектра вибрации корпуса двигателя с вибрационным состоянием этого

агрегата определяется комплексом следующих параметров: вибропроводимость корпуса двигателя от места установки агрегата до штатного виброприемника; соотношение динамических податливостей конструкции двигателя и самолета в районе установки штатного виброприемника; частота, характеризующая работу агрегата; масса агрегата.

По экспериментально определенным значениям динамических податливостей двигателя и самолета и величинам вибропроводимостей корпуса двигателя [2] был проведен расчет коэффициентов связи для различных режимов работы двигателя, соответствующих крейсерскому режиму полета. Результаты расчета приведены в таблице.

Режим	Частота Гц	Вибропроводимость корпуса двигателя $\times 10^6$, см/Н	k_n	k_v
0,6 ном	61	2,5	0,20	0,08
0,7 ном	63	3,0	0,29	0,15
0,9 ном	66	2,0	0,50	0,20

Из таблицы следует, что коэффициент связи существенно зависит от режима работы двигателя (частоты работы агрегата), что определяется в основном зависимостью величин динамических податливостей от частоты.

Так, если $\Pi_c \gg \Pi_d$, то $k_n = 1 / (1 + \frac{\Pi_d}{\Pi_c}) \rightarrow 1$, т.е. в случае податливой конструкции самолета (или упругой виброизолирующей подвески двигателя) влияние объекта на показания штатных датчиков минимально.

И наоборот, если конструкция двигателя в местах установки штатного датчика податливее конструкции самолета или сопоставима с нею ($\Pi_d = \Pi_c$, $k_n = 0,5$), то соотношение вибрации агрегата и штатного датчика изменяется (уменьшается в два раза и более).

Отсюда вытекают требования к размещению многофункционального датчика, характеризующего как роторную вибрацию двигателя, так и состояние агрегатов. Таким датчиком может быть виброприемник, устанавливаемый на разделительном корпусе двигателя. Здесь динамическая податливость двигателя ниже податливости конструкции самолета в диапазоне частот, характерных для работы ряда виброактивных агрегатов [1, 2].

Полученные зависимости, конкретизированные при стендовых испытаниях двигателей, могут быть рекомендованы для периодических прове-

рок, которые заключаются в записи вибрации корпуса двигателя на магнитный накопитель с последующим спектральным анализом в интересующем диапазоне частот и сравнении полученных спектров с эталонными, характеризующими нормальную и предельно допустимую работу агрегатов.

Эффективность диагностирования повышается, если в процессе эксплуатации используются индивидуальные эталонные спектрограммы (их снимают с каждого двигателя в начале эксплуатации при его установке на самолет и при замене какого-либо виброактивного агрегата на коробке приводов). Оценка изменения состояния производится относительно этой эталонной спектрограммы.

Так, проведенные на одном из объектов исследования показали, что уровень вибрационных составляющих в спектре вибрации одного из двигателей на частоте вращения вала гидронасоса НН-89 был сопоставим с роторной гармоникой двигателя и составлял 6...15 мм/с, что при определенных коэффициентах связи указывало на опасный уровень вибрации самого насоса - порядка 75 мм/с (через некоторое время наступило разрушение корпуса этого насоса). После замены насоса уровень составляющей насоса не превышал 2...5 мм/с, что соответствовало уровню вибрации насоса порядка 25 мм/с и отвечало нормальной работе агрегата.

Следовательно, если при последующих проверках в ходе выработки ресурса двигателя уровень дискретной составляющей, соответствующей частоте вращения вала гидронасоса, повысится, например, в два-три раза, то это будет указывать на возможный уровень вибрации насоса 50...75 мм/с, что потребует проверки его состояния.

Предлагаемый подход к расширению функций штатных виброприемников увеличивает возможность раннего выявления дефектов некоторых агрегатов, что существенно повышает надежность авиационной техники.

Библиографический список

1. Бакланов В.С., Вуль В.М. Влияние упругой подвески на виброхарактеристики корпуса двигателя // Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов: Сб. науч. тр. - Куйбышев: КуАИ, 1986. - С. 3-10.

2. Вуль В.М., Попков В.И., Агафонов В.К., Бакланов В.С. Исследование динамических характеристик двигателя, стенда и объекта в местах опорных связей // Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов: Сб. науч. тр. - Куйбышев: КуАИ, 1980. - С. 62-68.