

3. Э с к и н И.Д., И в а щ е н к о В.И. Вынужденные колебания осциллятора с конструкционным демпфированием. - Куйбышев, 1982. - 36 с. - Деп. в ВИНТИ, № 882-82Деп.

4. Э с к и н И.Д. Исследование обобщенных упругофрикционных характеристик демпферов и амортизаторов авиационных двигателей: Автореф. дис. ... канд.техн.наук. - Куйбышев, 1973. - 31 с.

УДК 621.822-752.3

К.Н.Явленский, А.К.Явленский, И.Н.Лукьяненко

АДАПТИВНЫЙ МЕТОД ВИБРОДИАГНОСТИКИ АВИАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ

Объекты авиационной техники в процессе эксплуатации испытывают воздействие целого ряда климатических и механических факторов, оказывающих существенное влияние на их надежность. Наименее надежными являются узлы, содержащие элементы трения, такие как шарикоподшипники, зубчатые передачи, контакты щеточно-коллекторного узла и др. Контактное взаимодействие элементов происходит в локальной зоне рабочих поверхностей, макро- и микрогеометрия которых являются важнейшими технологическими факторами, влияющими на эксплуатационные свойства авиационных приборов и определяющими их долговечность. В связи с этим актуальной является задача неразрушающего контроля характеристик поверхностей трения на этапе изготовления и эксплуатации авиационной техники.

К наиболее перспективным методам неразрушающего контроля относятся методы вибродиагностики /1/, разработанные на основе исследования динамических процессов изделий.

В операторной форме зависимость вибрации диагностируемого объекта от характеристик поверхностей трения может быть представлена в следующем виде:

$$X = W_1 W_2 (r) r, \quad (1)$$

где X - вектор вибрации, координатами которого являются значения амплитудного спектра вибрации авиационного устройства;

W_1 - постоянная матрица, элементы которой определяются элементами передаточной матрицы системы;

$W_2(r)$ - переменная матрица, элементы которой зависят от значений характеристик поверхностей трения;

r - вектор характеристик поверхностей.

При этом

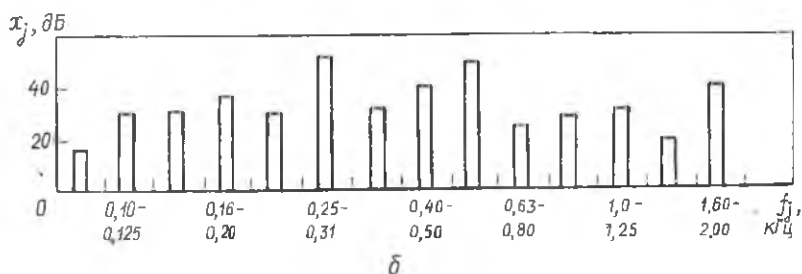
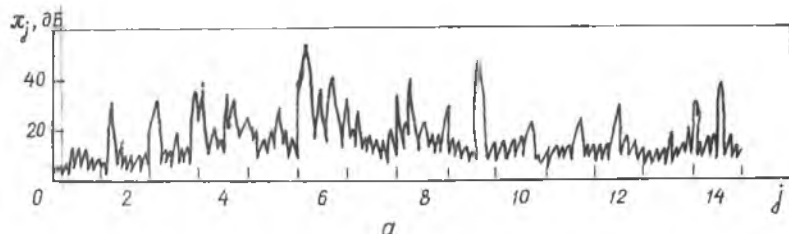
$$r = r^T(r_1, r_2, \dots, r_e, \dots, r_d),$$

где r_e - амплитуда e -й составляющей, определяемая характеристиками поверхностей трения в зависимости от амплитуды S -й гармоники поверхности контакта;

$$X = X^T(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n),$$

где x_j - амплитуда вибрации на j -й частоте.

Пример формирования вектора вибрации приведен на рис. 1.



Р и с. 1. Формирование вектора вибрации: а - экспериментальный спектр вибрации; б - амплитуда вибрации в f_j -х диапазонах частот

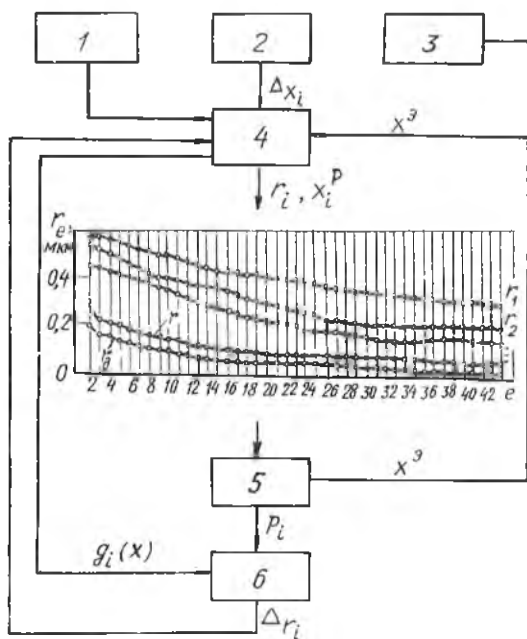
С целью повышения надежности авиационной техники необходимо учитывать изменения динамических процессов, происходящих в авиа-

ционных устройствах вследствие явлений износа и перемены режимов работы. Для этого осуществлен переход к детерминированной модели с варьируемыми параметрами [2], которая в операторной форме имеет вид

$$\Delta x_i = W_1 W_2 (\Delta r_i) \Delta r_i, \quad (I)$$

где Δr_i , Δx_i - пороговый вектор характеристик поверхностей и вектор вибрации на i -м шаге процесса диагностики.

Применение модели с варьируемыми параметрами (I) позволяет на основе методов теории распознавания разработать адаптивный алгоритм вибродиагностики, структурная схема которого приведена на рис. 2.



Р и с. 2. Структурная схема адаптивного алгоритма диагностики: 1-данные статистики; 2-детерминированная модель; 3-диагностируемый объект; 4- алгоритм диагностики; 5-алгоритм формирования критерия качества; 6-алгоритм варьирования параметров

Данные статистики формируются на основании исследования контролируемых параметров для партии изделий в количестве M , определяемом по критерию Стьюдента.

На основе теории распознавания, статистического анализа и положений теории автоматического управления разработан алгоритм пороговой диагностики характеристик макро- и микрогеометрии трущихся поверхностей авиационных устройств, который содержит основные принципы построения адаптивных алгоритмов:

составление детерминированной модели объекта диагностики на основе информации о его динамических свойствах в процессе функционирования;

определение вектора характеристик поверхностей r_i и вектора вибрации X_i^p по результатам диагностики;

формирование функционала качества P_i по сигналу рассогласования между векторами экспериментальной вибрации X^g и по данным диагностики X_i^p :

$$P_i = (X^g - X_i^p)^T (X^g - X_i^p), \quad (2)$$

где X^g - вектор экспериментальной вибрации, составляющие которого измеряются непосредственно на диагностируемом объекте с помощью стандартной виброизмерительной аппаратуры;

измерение варьируемых параметров Δr_i и соответственно Δx_i для приведения текущего критерия качества к оптимальному значению (2).

Оценка параметров поверхностей трения производится по следующему алгоритму /1/:

если $\Delta r_{2r} > r > \Delta r_i$ или $r_{max} > r > \Delta r_i$, то вектор характеристик поверхностей диагностируемого изделия принадлежит классу I, i - шаг адаптации, $i \neq 2r \neq 2r'$;

если $\Delta r_{2r'} < r < \Delta r_i$ или $r_{min} < r < \Delta r_i$, то вектор характеристик поверхностей диагностируемого изделия принадлежит классу II, где классы I, II определяются областью значений характеристик поверхностей трения.

Так как процесс диагностирования осуществляется по вибрационным характеристикам авиационного устройства, то реализуется следующий алгоритм:

при $\psi_i(X) > D$, $\Delta x_{2r} > X > \Delta x_i$ или $X_{max} > X > \Delta x_i$ вектор X

принадлежит классу I;

при $g_i(x) \leq 0, \Delta x_{2i} < x < \Delta x_{1i}$ или $x_{\min} < x < \Delta x_{1i}$ вектор принадлежит классу II, где классы I, II определяются областью значений минимально и максимально допустимой вибрации исследуемых объектов; $g_i(x)$ - значение дискриминантной функции, вычисляемой по байесовскому классификатору I/I .

Направление варьирования параметров детерминированной модели определяется на основании вычисления $g_i(x)$, задающего область значений искомых параметров.

За счет корректировки варьируемых параметров $\Delta p_i, \Delta x_{1i}$ проводится поднастройка модели с целью оптимального описания динамических процессов авиационных машин, содержащих узлы с трением по поверхностям, и повышения достоверности результатов диагностики.

Алгоритм задания пороговых значений характеристик поверхностей реализуется по следующим соотношениям:

$$\text{при } g_i(x) > 0 \quad \Delta p_i = \frac{\Delta p_{2i} - \Delta p_{1(i-1)}}{2}, \quad i > 2;$$

$$\text{при } g_i(x) < 0 \quad \Delta p_i = \frac{\Delta p_{1(i-1)} - \Delta p_{2i}}{2}, \quad i > 2.$$

Отклонение значения p_i от оптимального используется в качестве исходной информации для принятия решения о корректировке варьируемых параметров, т.е. создает их самонастройку. Переменные параметры модели, описываемые матрицей $W_2(\Delta p_i)$, функционально зависят от вектора характеристик поверхностей. Процесс самонастройки осуществляется по двум контурам: изменение порогового вектора характеристик поверхностей Δp_i и порогового вектора вибрации Δx_{1i} , так как в качестве информационного параметра диагностики используется вибрация диагностируемого устройства. Адаптация и соответственно процесс диагностики проводятся до тех пор, пока значение функционала качества p_i на i -м шаге не удовлетворит условию минимума (2). Тогда процесс диагностики окончен и получаем оптимальную оценку макро- и микрогеометрии поверхностей трения в виде составляющих вектора τ_i (см. рис. 2) на i' -м шаге.

Сравнение результатов диагностики с результатами разборки на основе измерения действительного вектора характеристик поверхностей $\tau_{\text{д}}$ (см. рис. 2) для партии шарикоподшипников, применяемых в авиационной технике, позволило установить следующие погрешности диагностики:

- для шероховатости ~ не более 15%;
- для волнистости - не более 12%;
- для отклонения формы - не более 10% при доверительной вероятности не менее 0,95.

Применение вычислительной техники обеспечивает быстроедействие и чувствительность процесса адаптивного диагностирования на основе детерминированной модели с варьируемыми параметрами. Разработанный алгоритм диагностики использован при обучении диагностического устройства /3/. Достоверность оценки диагностируемых параметров в процессе функционирования изделий позволяет использовать разработанный алгоритм и устройство диагностики на этапах технологического процесса изготовления, испытаний и эксплуатации авиационных устройств.

Библиографический список

1. Я в л е н о к и й К.Н., Я в л е н с к и й А.К. Вибродиагностика и прогнозирование качества механических систем. - Л.: Машиностроение, 1983. - 239 с.
2. Л у к ъ я н е н к о И.Н. Контроль характеристик поверхностей трения механических систем исполнительных устройств методами вибродиагностики: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - Л., 1984. - 21 с.
3. А.о. 540186 СССР. Устройство для диагностики подшипников качения /В.А.Голубков, И.Н.Лукьяненко, В.П.Миронович и др. //БИГ-1976. - № 47.