

УДК 621.455-192

С.В. Емельянов, инженер, Одес. нац. политехн. ун-т

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКА ПАРАЗИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ В ПРОТОЧНЫХ ЧАСТЯХ МАШИН РОТОРНОГО ТИПА

С.В. Емельянов. Локалізація джерела паразитних коливань у проточних частинах машин роторного типу. Методами розпізнавання образів у спеціально введеному циліндричному просторі значень вимірюваних параметрів машин класу роторних сформульовано метод рішення задачі локалізації джерела автоколивань.

S.V. Yemelyanov. Localization of a parasitic fluctuations source in flow passages of rotor type machines. A method of solving the problem of localizing a source of self-excited oscillations is formulated by the palter recognition methods in the specially introduced cylindrical space of the measured parameters values of rotor class machines.

Локализация паразитных автоколебательных форм в проточных частях машин — одна из наиболее часто встречающихся на практике задач диагностирования технического состояния оборудования.

В результате анализа записей огневого испытания одной из конструкций ракетного двигателя в пульсациях давления в проточных частях и в вибрациях элементов конструкции были обнаружены колебания в диапазоне 1050...1200 Гц. Схема проточной части тракта окислителя двигателя содержит насос окислителя, соединительный трубопровод и газогенератор (см. рисунок). Измеряемые параметры включают пульсации давления: до насоса, после насоса, до газогенератора и в газогенераторе (соответственно датчики 1, 2, 3, 4).

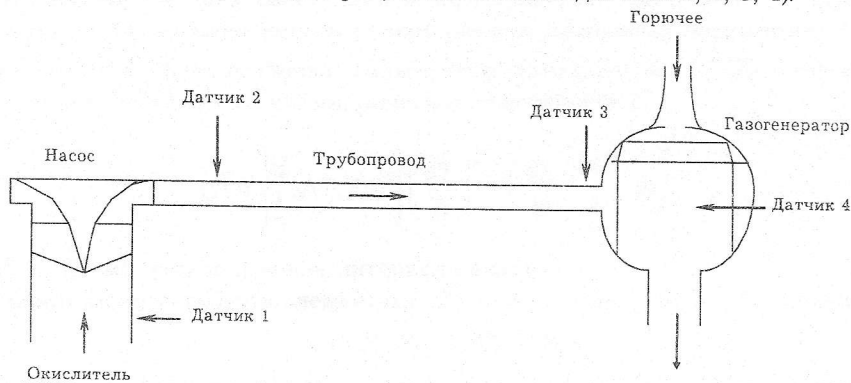


Схема проточной части тракта окислителя двигателя

В качестве дополнительных параметров двигателя контролировались обороты ротора насоса и температура в газогенераторе, которые определяют режим работы двигателя и его отдельных частей.

Экспериментально установлена зависимость частоты автоколебаний от режима работы двигателя. В газогенераторе возможно возникновения автоколебаний. Анализ экспериментальных данных нескольких огневого испытаний двигателя не позволил сделать вывод о нахождении источника автоколебаний в газогенераторе. Поэтому возникла необходимость применения иного метода локализации источника колебаний.

Для получения достоверного результата задача решалась с применением методов теории распознавания образов [1]. При локализации источника колебаний были рассмотрены несколько гипотез, из которых как наиболее вероятные для анализа были приняты две: источник расположен в газогенераторе и источник расположен в насосе.

Первая гипотеза является наиболее предпочтительной, поскольку конструкция газогенератора имеет несколько собственных частот, на которых возможно возникновение автоколе-

баний. Однако вторая гипотеза имеет право на существование из-за наличия на лопатках насоса трудно идентифицируемых отрывных течений.

Предлагается метод локализации источника автоколебаний, основанный на свойствах источника автоколебаний в зависимости от его местонахождения:

— частота автоколебаний в объеме газогенератора [2]

$$f(T) = \lambda \sqrt{T}, \quad (1)$$

где T — абсолютная температура, К;

λ — неизвестная постоянная модели;

— частота автоколебаний в насосе

$$f(f_r) = f_r a + b, \quad (2)$$

где f_r — частота оборотов ротора;

a, b — неизвестные постоянные модели.

Необходимо ввести критерий отнесения механизма возбуждения автоколебаний к одной из двух указанных гипотез — критерий распознавания.

Для распознавания гипотез сформулируем общее пространство параметров f , T и f_r , где T и f_r привязаны к единому масштабу времени при каждом натурном испытании. Тогда полученные экспериментальные данные могут интерпретироваться как некоторые кривые на цилиндрической поверхности S с образующей в плоскости (T, f_r)

$$\begin{cases} T = T(t); \\ f_r = f_r(t), \end{cases}$$

где t — текущее время эксперимента,

и направляющей, параллельной оси f .

Поэтому на этой цилиндрической поверхности можно производить распознавание.

Следует задать метрику расстояний между кривыми. Частота исследуемых колебаний, представленная в форме зависимости от измеряемых режимных параметров $f=f(T, f_r)$, будет рассматриваться как элемент (точка) гильбертова пространства L_2 [3] с нормой, определенной как интеграл Стильтеса на цилиндрической поверхности S :

$$\|f\| = \left\{ \int_{t_1}^{t_2} (f(T, f_r))^2 \left[\left(\frac{dT}{dt} \right)^2 + \left(\frac{df_r}{dt} \right)^2 \right]^{1/2} dt \right\}^{1/2}, \quad (3)$$

где t_1 и t_2 — время начала и конца интервала анализа.

Расстояния между любыми элементами X_1 и X_2 в пространстве L_2 определяются как

$$\rho(X_1, X_2) = \|X_1 - X_2\|.$$

Норма (3) для уравнения (1) будет определять область A для всех возможных значений λ , а для уравнения (2) — область B для всех возможных значений a и b .

С целью распознавания гипотез определяются минимальные расстояния в пространстве L_2 от экспериментальной точки f до областей A и B , соответственно,

$$\rho_A = \|f - A\|, \quad (4)$$

$$\rho_B = \|f - B\|. \quad (5)$$

В качестве критерия распознавания может быть использовано соотношение

$$K = \frac{\rho_A}{\rho_B}. \quad (6)$$

Результат интерпретируется следующим образом:

$K \approx 1$ — гипотезы не распознаются;

$K > 1$ — источник колебаний в насосе;

$K < 1$ — источник колебаний в газогенераторе.

Таким образом, выражения (3) — (6) являются основой метода локализации источника автоколебаний. Предлагаемый метод реализуем на переходных режимах работы двигателя,

что является особенностью его применения. Для стационарных режимов необходимо применение других методов локализации.

На основе полученного критерия проведена обработка ряда натурных испытаний ракетного двигателя. Использовались данные от датчиков 2 и 3, имеющих наиболее выраженные амплитуды паразитных колебаний. В результате обработок значение K варьировалось в диапазоне 1,6...3, что подтверждает гипотезу о расположении источника автоколебаний в насосе. В тех случаях, когда значение K было близко к 1, что объясняется малой протяженностью цилиндра C , распознавание не производилось.

Разработанный метод локализации паразитных автоколебательных форм в проточных частях машин роторного типа позволяет определить источник автоколебаний в проточной части окислителя одной из конструкций жидкостного ракетного двигателя. Метод применим при работе объекта контроля на переходных режимах.

Литература

1. Фор А. Восприятие и распознавание образов / Пер. с фр. А.В. Сердинского; Под ред. Г.П. Катуса. — М.: Машиностроение, 1989. — 272 с.
2. Скучик Е. Основы акустики: Пер с англ. — М.: Мир, 1976. Т. 1. — 520 с. Т. 2. — 544 с.
3. Рисс Ф., Секефальви-Надь Б. Лекции по функциональному анализу. — М.: Мир, 1979. — 588 с.

Поступила в редакцию 29 июля 2002 г.