

УДК 519.248

Т.В. КИПРИЧ, В.Н. ХАРИТОНОВ

ГП ЗМКБ “Прогресс” им. ак. Ивченко,, Запорожье, Украина

ДИАГНОСТИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТОПЛИВНОГО ФИЛЬТРА В НАСОС-ДОЗАТОРЕ С ПОМОЩЬЮ S-ДИСКРИМИНАНТА СИГНАЛА ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ ТОПЛИВА ПЕРЕД РАБОЧИМИ ФОРСУНКАМИ

Для ранней диагностики предотказного состояния насос-дозатора предложен метод на основе вычисления S- дискриминанта для сигнала от датчика давления топлива перед рабочими форсунками. В работе используется наиболее простой и эффективный безразмерный индекс превышения порога клиппирования P по «дисперсии». Формирование опорной выборки осуществляется при отсутствии загрязнения топливного фильтра. Полученные статистические характеристики расчетных параметров, которые указывают на отказ функционирования насос-дозатора, подтверждает сигнализация о засорении топливного фильтра в насос-дозаторе.

Ключевые слова: ГТД, насос-дозатор, сигнал датчика давления топлива перед рабочими форсунками, S-дискриминант, реально-временной алгоритм, БСКД.

Введение

Отказ насоса-дозатора (НД) топлива современных авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) приводит к усложнению условий выполнения полетного задания и может привести к аварийной ситуации.

Поэтому раннюю диагностику технического состояния НД следует отнести к приоритетным задачам бортовых систем контроля и диагностики (БСКД). Особенно это справедливо для НД со ступенью высокого давления, реализованной в виде плунжерного насоса.

В имеющихся на сегодняшний день системах реально-временной контроль НД ограничивается только сигнализацией засорения топливного фильтра (в некоторых НД несколько фильтров) НД [1]. Однако опыт эксплуатации некоторых типов НД российских и украинских разработчиков показывает, что этого недостаточно.

Таким образом, необходимо определить методику раннего обнаружения предотказного состояния НД, на основе которой можно разработать реально-временной алгоритм для последующей реализации его в БСКД.

1. Описание методики S-дискриминант

Контроль развития неисправностей во времени дает возможность защищать машинные механизмы от аварийных ситуаций. Одним из параметров, об-

ладающих высокой чувствительностью к быстрым изменениям технического состояния машинного оборудования и позволяющих диагностировать эксплуатационные повреждения на ранней стадии их развития, является S-дискриминант. В работе используется наиболее простой и эффективный безразмерный индекс превращения порога клиппирования P по «дисперсии» [2, 3]:

$$I_d = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (s_i^{(t)} - P)^2 K^{(t)}}{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (s_j^{(n)} - P)^2 K^{(n)}}, \quad (1)$$

где, $s_i^{(t)}$, $s_j^{(n)}$ – отсчеты значений временных реализаций сигналов давления топлива перед рабочими форсунками (Ртрф) для текущего (t) и “эталонного” (n) состояния оборудования;

$K^{(t)}$, $K^{(n)}$ – обозначают количество отсчетов амплитуды сигнала Ртрф, превышающих порог клиппирования P для текущего и «эталонного» режима функционирования оборудования соответственно;

N – длина реализации сигнала Ртрф, число отсчетов;

P – порог клиппирования (clip-threshold), определяемый следующим соотношением:

$$P = \lambda \delta_n, \quad (2)$$

где δ_n – стандартное отклонение опорных значений сигнала Ртрф от среднего;

$\lambda = 1..3$ – коэффициент пропорциональности, определяющий чувствительность дискриминанта.

Общими свойствами обобщенного S-дискри-

минанта (I_A) являются:

- $I_A \approx 1$, при несущественных отклонениях технического состояния от нормы;
- $I_A > 1$, при допустимых отклонениях исследуемых параметров;
- $I_A \gg 1$, при недопустимых отклонениях, которые граничат с аварийной ситуацией.

В результате значительное превышение индекса порога клиппирования P по дисперсии единичного

значения укажет на предотказное состояние при функционировании насоса-дозатора.

2. Экспериментальные результаты

Основные статистические характеристики исследуемого сигнала $P_{трф}$ («грязный» сигнал на рис. 1) на основных режимах эксплуатации (ОРЭ) двигателя приведены в табл. 1.

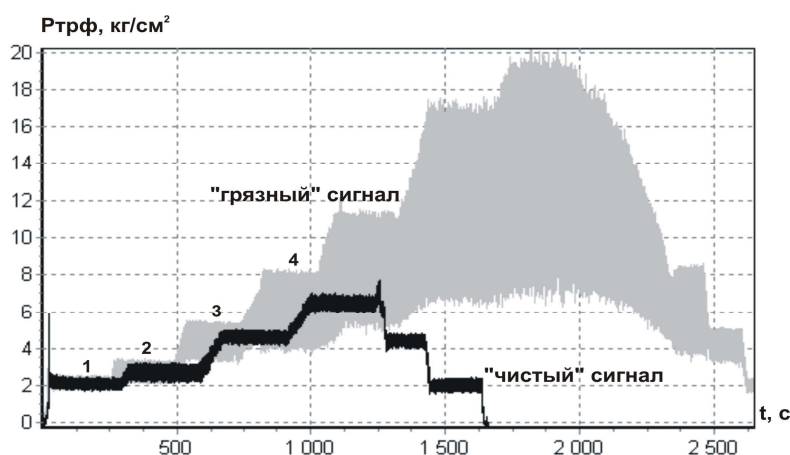


Рис. 1. Изменение сигнала $P_{трф}$ на ОРЭ двигателя

Таблица 1

Характеристики исследуемого сигнала $P_{трф}$ на ОРЭ двигателя

№ режима	МО, кг/см ²	σ	Min, кг/см ²	Max, кг/см ²
1	2,144	0,0188	1,716	2,640
2	2,759	0,068	2,031	3,445
3	4,536	0,183	3,052	5,641
4	6,205	1,327	3,548	8,411

В табл. 1 статистические характеристики:

- МО – математическое ожидание параметра;
- σ – стандартное отклонение параметра;

– Min, Max – минимальные и максимальные значения параметров,

рассчитаны при таких значениях:

- частота дискретизации $dF = 4000$ Гц;
- длина сигнала $L = 99999$ точек,

а графа № – порядковый номер режима работы двигателя, на котором снимаются показания сигнала $P_{трф}$.

Для формирования опорной выборки использовался «чистый» сигнал $P_{трф}$ (рис. 1), значения которого были зафиксированы при отсутствии загрязнения топливного фильтра в НД.

Характеристики опорной выборки приведены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики опорной выборки сигнала $P_{трф}$ на ОРЭ двигателя

№ режима	МО, кг/см ²	σ	Min, кг/см ²	Max, кг/см ²
1	2,109	0,0129	1,687	2,532
2	2,725	0,0354	2,134	3,322
3	4,628	0,0162	4,118	5,105
4	6,443	0,0239	5,877	7,060

В табл. 2 статистические характеристики рассчитаны при тех же значениях dF и L .

Результаты обработки данного сигнала с помощью S-дискриминанта указаны в табл. 3. Расчеты проводились при значении коэффициента $\lambda=2$.

Таблица 3

Характеристики S-дискриминанта сигнала $P_{трф}$ на ОРЭ двигателя

№ режима	МО, кг/см ²	σ	Min, кг/см ²	Max, кг/см ²
1	1,644	0,024	1,172	2,33
2	2,671	0,038	1,971	3,324
3	18,506	1,155	14,723	22,534
4	116,176	38,218	96,311	136,82

В табл. 2 статистические характеристики рассчитаны при $dF = 4000$ Гц и $L = 99500$ точек.

Из табл. 3 следует, что на 3 – 4 режимах значение параметра $I_d \gg 1$ ($\sigma \gg 1$ для I_d), что указывает на отклонение технического состояния работы машинного оборудования от нормы и подтверждается срабатыванием сигнализации о засорении топливного фильтра в НД.

Вывод

Предлагаемая методика может быть основой для разработки реально-временного алгоритма обнаружения предотказного состояния НД.

Литература

1. ОСТ 1 02621-96. Система контроля и диагностики авиационных ГТД бортовая. Общие требования. – Взамен ОСТ 1 02621-87; введ. 01.01.1997. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 20 с.
2. Неразрушающий контроль: Справочник: в 8 т. Т.7: в 2 кн. / под общ. ред. Клюева В.В. – М.: Машиностроение, 2006. – 829 с.
3. Sokolova A.G. Dimensionless Machine Vibration S-Discriminants as a Mean to Improve Monitoring and Get Fault Detection [Electronic resource] / A.G. Sokolova, K. Pichugin. // The NDT Database & Journal. – Access mode: <http://www.ultrasonic.de/article/ecndt2006/doc/P82.pdf>.

Поступила в редакцию 30.04.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой С.В. Епифанов, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

ДІАГНОСТИКА ЗАБРУДНЕННЯ ПАЛИВНОГО ФІЛЬТРУ В НАСОС-ДОЗАТОРІ ЗА ДОПОМОГОЮ S-ДИСКРИМІНАНТУ СИГНАЛУ ДАВАЧА ТИСКУ ПАЛИВА ПОПЕРЕД РОБОЧИХ ФОРСУНОК

Т.В. Кіпріч, В.М. Харітонов

Для ранньої діагностики попередвдмовного стану насос-дозатору запропоновано метод на основі обчислення S-дискримінанту для сигналу від давача тиску палива поперед робочих форсунок. У роботі використовується найбільш простий та ефективний безрозмірний амплітудний індекс перевищення порога кліпування P відносно «дисперсії». Формування опорної вибірки відбувається при відсутності забруднення паливного фільтру. Отримані статистичні характеристики вказують на відмову функціонування насос-дозатору під час сигналізації забруднення паливного фільтру в насос-дозаторі.

Ключові слова: газотурбінний двигун, насос-дозатор, сигнал давача тиску палива поперед робочих форсунок, S-дискримінант, реально-часовий алгоритм, БСКД.

DIAGNOSTICS OF FUEL FILTER CLOGGING IN METERING DEVICE PUMP BY THE S-DISCRIMINANT OF THE FUEL PRESSURE SENSOR SIGNAL BEFORE WORKING INJECTORS

T.V. Kiprich, V.N. Kharitonov

The method on the based calculating S-discriminant of the fuel pressure sensor signal before working injectors is proposed to early detection the prefault state of metering device pump. It uses most simple and effective index of clip-threshold P relative to variance. “Normal” sample is formed at zero pollution of fuel filter. Resulting statistical characteristics point to fault of metering device pump. This is confirmed by signaling of fuel filter clogging in metering device pump.

Key words: GTE, metering device pump, fuel pressure sensor signal before working injectors, S-discriminant, on-line algorithm, EMS.

Кіпріч Татяна Віталєвна – канд. техн. наук, інженер-программист ГП «Івченко-Прогресс», Запорозьє, Україна, e-mail: aviafriend@gmail.com.

Харітонов Віктор Николаевич – інженер-конструктор ГП «Івченко-Прогресс», Запорозьє, Україна, e-mail: 03510@ivchenko-progress.com.