

УДК 629.7.083

ШУМІЛІН Г.О., начальник науково-дослідної лабораторії
НАЗАРЕНКО В.І., старший науковий співробітник
КАРНАУШЕНКО В.М., старший науковий співробітник

УДОСКОНАЛЕННЯ АЛГОРИТМІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ПАЛИВНОГО КОЛЕКТОРА ОСНОВНОЇ КАМЕРИ ЗГОРЯННЯ ДВИГУНА РД-33

У статті наведені результати аналізу існуючих засобів діагностування основної камери згоряння двигуна РД-33 та алгоритм її діагностування за допомогою “жиклера-еквівалента”

Ключові слова: авіаційний двигун, основна камера згоряння, паливний колектор, форсунка, жиклер-еквівалент

Важливим пріоритетним напрямом в області підвищення безпеки польотів авіаційної техніки є удосконалення як структури і логічної організації експлуатаційно-технічної діагностики, так і її процесів, які спрямовані на ефективність раннього виявлення несправностей. Безпека експлуатації авіаційних двигунів (АД) значною мірою визначається надійністю, закладеною при проектуванні і виробництві, а також ефективністю методів і засобів діагностики його технічного стану, що забезпечують своєчасне виявлення несправностей і передвідмовних станів, які виникають у процесі експлуатації.

Авіаційний двигун, його функціональні системи схильні до безперервних якісних змін. Напрямок цих змін обумовлюється ствердженням, що впорядковані системи, а до них відносяться всі технічні пристрої, мають тенденцію руйнуватися з часом, тобто втрачати впорядкованість, закладену в них при створенні. Ця тенденція проявляється при спільній дії численних чинників дезорганізації, які не можуть бути враховані при проектуванні і виготовленні АД, тому процеси зміни якості є нерегулярними, випадковими, а їх наслідки – несподіваними [1]. Для вирішення указаних проблем необхідно знайти шляхи, що забезпечують високу ефективність технічного обслуговування. Одним з таких шляхів є рання діагностика, що дозволяє виявити несправності АД з попередженням в такій стадії їх розвитку, яка допускає хоч і обмежене, але безпечно продовження експлуатації.

Особливо актуальне питання стає при діагностуванні двигунів РД-33. При експлуатації літаків типу МіГ-29 неодноразово відбувалися відмови двигунів внаслідок руйнування деталей паливного колектора. В багатьох випадках руйнування деталей паливного колектора приводили до руйнування корпусу камери згоряння, прогару елементів конструкції двигуна і мотогондоли (рис.1).

Оцінка деталей основної камери згоряння (ОКЗ) в основному здійснюється

візуально-оптичним методом контролю. Візуально-оптичний контроль займає важливе місце у діагностуванні технічного стану двигуна. Для його проведення витрачається 40 ... 50% загальних трудовитрат на контроль двигуна. Але, огляд деталей виконується, як правило, в полі зору деталі з використанням застарілого обладнання – жорстких та гнучких ендоскопів без реєструючих приладів, що втомлює оператора та знижує якість перевірки. Виконати огляд існуючими ендоскопами деталей ОКЗ (торці форсунок, завихрювачі та ін.) в повній мірі і якісно неможливо.

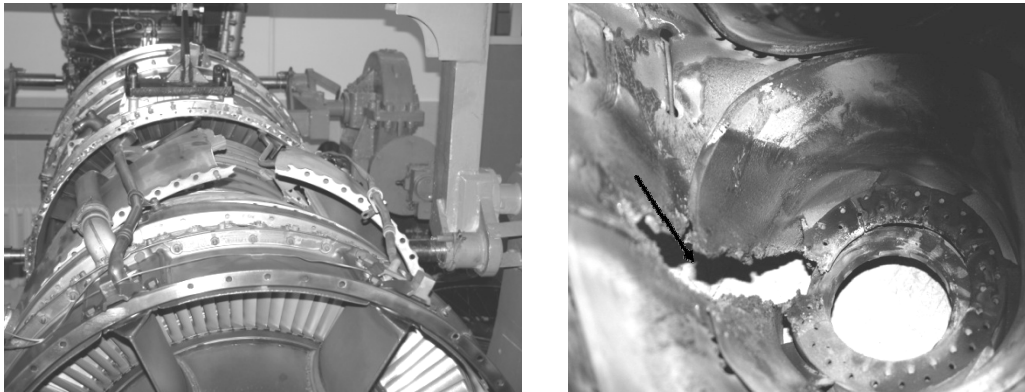


Рис. 1. Прогари елементів конструкції камери згоряння

Виявити інструментальними методами початок руйнування паливного колектора в експлуатації проблематично через особливості конструктивного виконання ОКЗ [2]. Але цього можливо досягти за опосередкованими ознаками – при виникненні тріщин на деталях паливного колектора порушується його герметичність і, як наслідок, відбувається зміна тиску палива $P_{Т1}$ порівняно з його значенням за технічними вимогами [3]. Нештатна зміна параметрів роботи фіксується на сигналограмі реєстрації параметрів АД. При проведенні регулярного та ретельного аналізу сигналограм є можливість своєчасного виявлення та попередження початку руйнування паливного колектора ОКЗ.

На рисунку 2 представлено фрагмент сигналограми параметрів АД попереднього польоту перед виявленням несправності.

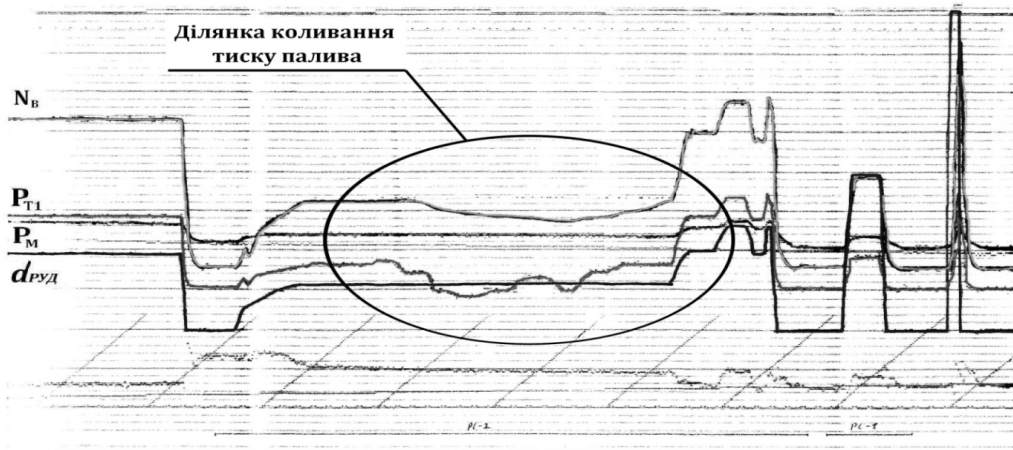


Рис. 2. Фрагмент сигналограми (P_M - тиск масла)

На сигналограмі є характерна ділянка коливання тиску палива в колекторі та падіння частоти обертання ротора високого тиску (N_B) при незмінному положенні ручки управління двигуном (РУД) $\alpha_{РУД}$. Такі зміни тиску палива та падіння частоти обертання відбувалися саме внаслідок руйнування паливного колектора.

Характерними ділянками польоту, що аналізуються, є зліт, політ з роботою двигуна на максимальному режимі, посадка.

У разі виявлення на сигналограмі хоча б однієї з вище вказаних ознак здійснюється пошук несправності за методикою, яка викладена в бюлетені №229.9.0.02.45.4 (196-БЭ) [4].

Одним із етапів пошуку несправності на схемі є перевірка стану трубопроводів підводу палива в 1 контур ОКЗ методом наливу керосину (технологія № 6 бюлетеня). Але даний метод має ряд суттєвих недоліків. По-перше, він вимагає значних затрат часу на проведення перевірки, а по-друге, він не дозволяє виявити тріщини на колекторі у разі їх виникнення в зоні, що знаходиться вище розташування нижніх форсунок. Установити наявність тріщин на колекторі можливо візуально-оптичним методом за опосередкованими ознаками з використанням відеоскопу, але цей метод також трудомісткий. Більш ефективним може бути метод вимірювання параметрів, що характеризують витрату палива через паливний колектор.

Для розв'язання поставленої задачі необхідно визначити найбільш інформативний параметр стану паливного колектора. Використовуючи рівняння Бернуллі [5], можливо оцінити залежність зміни параметрів рідини від площі поперечного перетину трубопроводів, через які вона протікає. Тобто зміна площі поперечного перетину трубопроводу в будь-якому місці призведе до зміни параметрів рідини на вході в трубопровід.

Паливний колектор може розглядатися як складний розгалужений трубопровід (рис. 3). Розгалужене з'єднання – сукупність декількох простих трубопроводів, які мають одне загальне місце розгалуження або з'єднання труб.

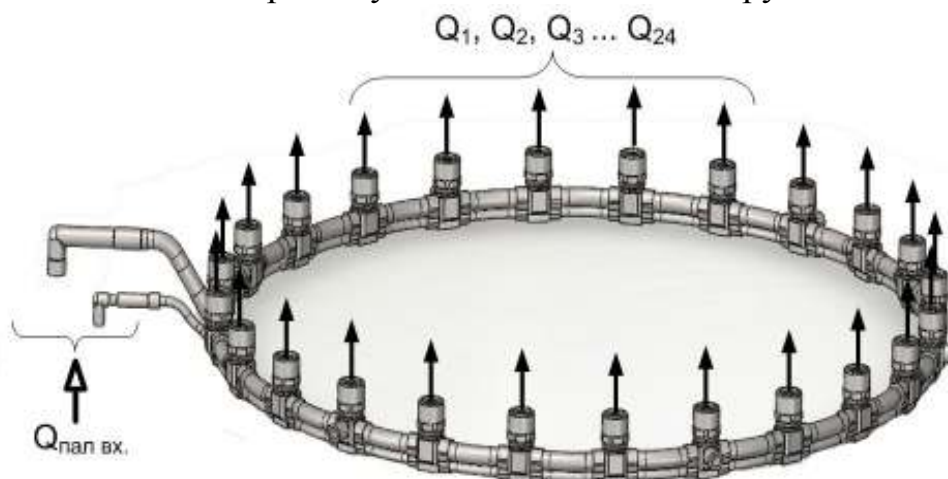


Рис. 3. Схема паливного колектора

В даному випадку основний трубопровід має розгалуження в місцях під'єднання паливних форсунок. Кожну з форсунок можливо розглядати як окремий трубопровід однакового діаметра з однаковим місцевим опором. Таким чином, загальна витрата палива Q в основному трубопроводі (паливному колекторі) буде рівна сумі витрат палива в кожному трубопроводі $Q_1, Q_2, Q_3 \dots Q_n$ (форсунці):

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n.$$

Руйнування деталей паливного колектора (тріщини втоми) безпосередньо призведуть до підвищеної загальної витрати палива через колектор, а відповідно і до зниження тиску палива на вході в паливний колектор. Коксування форсунок чи засмічення паливного колектора призведуть до зменшення витрат палива, і, як наслідок, до підвищення тиску палива на вході в паливний колектор. В такому випадку для оцінки стану паливного колектора доцільно застосовувати методику перевірки герметичності першого контуру паливного колектора за допомогою "жиклера-еквівалента", у якого характеристики аналогічні характеристикам паливного колектора в цілому[6].

Методика полягає в тому, що на хибному запуску двигуна проводяться заміри тиску палива в першому контурі паливного колектора за допомогою манометра без "жиклера-еквівалента" і з "жиклером-еквівалентом". Коли значення тиску палива ($P_{т1}$) виміряне в першому контурі паливного колектора менше значення тиску палива ($P_{т1же}$) виміряне на "жиклері-еквіваленті", то це свідчить про негерметичність першого контуру паливного колектора (тріщини, свищі, прогорання форсунок). А якщо $P_{т1} > P_{т1же}$, то це свідчить про закоксованість форсунок паливного колектора. Різниця виміряних значень тиску $P_{т1} - P_{т1же}$ порівнюється з допустимим значенням $\Delta P_{т1доп}$ і, у разі відхилень від допустимого значення параметра, приймається рішення по двигуну. Допустиме значення межі $\Delta P_{т1доп}$ відхилень параметрів, виміряних на жиклері та паливному колекторі, можливо визначити експериментальним шляхом при проведенні випробувань колекторів в умовах АРП та за їх результатами розробити відповідні пристрої, методики та технології виконання перевірок. Після розробки технології та введення її в дію у встановленому порядку алгоритм оцінки технічного стану колектора ОКЗ може виглядати таким чином, як наведено на рисунку 4.

Застосування указанного алгоритму дозволить суттєво скоротити трудомісткість на виконання робіт з діагностування стану паливного колектора ОКЗ [7, 8].

В результаті досліджень із застосуванням пропонуємого алгоритму діагностування стану паливного колектора ОКЗ двигуна РД-33 було встановлено, що адаптація і застосування зазначеного алгоритму дозволить виявляти несправності паливного колектора двигуна РД-33 в процесі його експлуатації на ранніх стадіях їх розвитку.



Рис. 4. Алгоритм оцінки технічного стану паливного колектора ОКЗ АД РД-33

ЛІТЕРАТУРА

1. Акимов В. М. Основы надежности газотурбинных двигателей. М.: Машиностроение, 1981, 207 с.
2. Лобунько О.П., Карнаушенко В.М. Напрямки вдосконалення системи діагностування авіадвигунів при експлуатації за технічним станом. К.: ДНДІА, 2008. – С. 145 – 149.
3. Руководство по технической эксплуатации 088.00.1700РЭ. Книга II, М.: Воениздат. 1982. – 766 с.
4. Бюллетень №229.9.0.0245.4(196-БЭ) Периодический анализ сигналограмм системы “Тестер-УЗЛ” для оценки состояния элементов топливного коллектора ОКС изд 88, находящихся в эксплуатации.,1999, 57 с.
5. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.:Наука, 1987, 840 с.
6. Временная инструкция по диагностированию и устранению неисправностей 99.01. ИН., 283 с.
7. Кулешов В. В. Турбореактивный двухконтурный двигатель с форсажной камерой сгорания РД 33-2С. ВВИА Н.Е. Жуковского, 1986, 328 с.
8. Руководство по технической эксплуатации 088.00.1700РЭ. Книга II, М.: Воениздат. 1982. – 766 с.

Надійшла до редакції 05.10.2013.