

УДК 621.7.036-226

В.В. ПАНИН, А.П. ВОЗНЮК, Г. СУНЬ, М. ОЛАЛИ

Национальный авиационный университет, Киев, Украина

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ КОМПЛЕКСНОГО МЕТОДА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ГТД

Рассматривается метод диагностирования ГТД, который учитывает вибрационное состояние двигателя, концентрацию продуктов износа в масле, накопление повреждений в критических элементах конструкции и изменение газодинамической устойчивости компрессора в процессе эксплуатации.

**вибрация двигателя, концентрация продуктов изнашивания в масле, виброскорость, виброперегрузка, двигателя ограниченной контролепригодности**

### Введение

При любой стратегии эксплуатации авиационной техники (по наработке, по техническому состоянию с контролем параметров, контролем уровня надежности и к отказу) роль диагностирования возрастает. Это объясняется целым рядом причин. Во-первых, эксплуатация АО по техническому состоянию безусловно требует наличия методов его определение и прогнозирование. Во-вторых, конструкция двигателей усложняется и возрастают требования к безопасности и регулярности полетов. В-третьих, рост ресурсов ГТД вызывает увеличение количества параметров, которые регистрируются в эксплуатации.

Определение технического состояния АО – одна из наиболее сложных задач, который необходимо решать в процессе эксплуатации. Значительная часть времени, которое АО не используется по назначению, тратится на проверку технического состояния и поиск неисправностей [1].

Указанные выше обстоятельства свидетельствуют о безусловной актуальности задачи усовершенствования методов диагностики АО и, особенно, авиационных ГТД, как наиболее сложных и энергетически напряженных элементов летательных аппаратов.

**Формулирование проблемы.** К настоящему времени при диагностировании ГТД используются методы, которые позволяют отдельно анализировать

вибрацию двигателя, состояние элементов и их прочной части, концентрацию продуктов изнашивания в масле, накопление повреждений критических элементов конструкции, запас газодинамической устойчивости каскадов компрессоров [1 – 4]. Так, например, для оценки вибрационного состояния в качестве диагностического признака используют коэффициент увеличения виброскорости или виброперегрузки [2]. В состав контролируемых деталей могут быть внесены лопатка вентилятора, диски компрессоров и турбин, а также валы [5]. Для оценки состояния опор и редукторов двигателей используют относительный коэффициент роста концентрации железа в масле [1], величина которого может быть определена по формуле:

$$\Delta \bar{K}_{Fe} = \frac{K_{FeCON}}{K_{FeO}} - 1,$$

где  $K_{FeO}, K_{FeCON}$  – начальное и текущее значение концентрации железа в масле, respectively.

Аналогично можно определить параметр общей вибрации двигателя

$$\Delta \bar{K}_V = \frac{K_V CON}{K_{VO}} - 1,$$

где  $K_{VO}, K_V CON$  – начальное и текущее значения коэффициентов виброперегрузки.

Величину повреждаемости критического элемен-

та конструкции в работе [6] предлагается определять с использованием следующего соотношения

$$K_{\tau} = \frac{t_e}{\tau_e},$$

где  $t_e$  – эквивалентная наработка двигателя, накапливаемая от полета к полету;  $\tau_e$  – долговечность критического элемента конструкции при параметрах эквивалентного режима нагружения. В качестве эквивалентного режима нагружения может быть выбран взлетный режим в стандартных атмосферных условиях.

В работах А.К. Янко предлагалось установить связь между параметром общей вибрации, величиной относительного коэффициента приращения концентрации железа в масле и параметром  $K_{\tau}$  с использованием следующего уравнения

$$K_{\tau} = \delta + \beta_1 \Delta \bar{K}_V + \beta_2 \Delta \bar{K}_{Fe}, \quad (1)$$

где  $\delta, \beta_1, \beta_2$  – коэффициенты взаимосвязи.

Однако предложенные до настоящего времени подходы к решению задачи комплексного диагностирования не учитывали изменения запаса газодинамической устойчивости двигателя.

## 1. Решение проблемы

Для диагностирования технического состояния ГТД на основе анализа накопления продуктов изнашивания в масле носителями входной информации являются пробы масла, которые периодически из определенных мест (точек) силовой установки в соответствии с разработанной технологией для каждого конкретного типа двигателя. При определении коэффициентов виброперегрузки используют датчики виброскорости. Остальные методы по той или иной причине не носили практического применения. Например, недостатками методов диагностирования по измерению термогазодинамических параметров являются нечеткость идентификации газодинамически подобных режимов работы двигателя, на которых осуществляется диагностирование, а также недостаточный уровень контролепригодности современных ГТД.

Учитывая вышеизложенное авторами предлагается комплексная методика диагностирования, в которой диагностическими параметрами являются относительный коэффициент приращения концентрации железа в масле, параметр общей вибрации двигателя, величина повреждаемости критического элемента конструкции и относительная величина запаса устойчивой работы компрессора ГТД, характеризующая интегрально состояние проточной части двигателя. Относительный коэффициент запаса устойчивости предлагается определять по формуле:

$$\Delta \bar{K}_{st} = \frac{K_{st.CON}}{K_{st.O}} - 1,$$

где  $K_{st.CON}, K_{st.O}$  – текущее и начальное значения запаса устойчивости компрессора ГТД, соответственно.

Величины  $K_{st.CON}, K_{st.O}$ , входящие в уравнение (1), определяют по методу, изложенному в работе [7].

Использование перечисленных диагностических параметров возможно для многократно повторяющейся конкретной реализации программы работы двигателя, т.е. для стандартного полета. Если реализации отличаются от одного полета к другому, что имеет место в реальных условиях эксплуатации, то целесообразно в качестве диагностических параметров использовать скорость накопления повреждений критического элемента конструкции в течение  $j$ -й

реализации полета  $\frac{\delta \Pi_j}{\delta f_j} t_{fj}$  [8], а также скорости

изменения относительных приращений коэффициентов концентрации железа в масле  $\frac{\Delta K_{f_i}}{t_{fj}}$ , вибрации

$\frac{(\Delta \bar{K}_V)_j}{t_{fj}}$  и газодинамической устойчивости  $\frac{(\Delta \bar{K}_{st})_j}{t_{fj}}$ .

На основе корреляционно-регрессионного анализа данных подконтрольной эксплуатации можно установить статистические зависимости:

$$\lambda_0 = A_0 + \frac{1}{t_{fj}} [A_1 \delta \Pi_j + A_2 (\Delta \bar{K}_{Fe})_j + A_3 (\Delta \bar{K}_V)_j + A_4 (\Delta \bar{K}_{st})_j];$$

$$\begin{aligned}
 \lambda_1 &= B_0 + \frac{1}{t_{ff}} [B_1 \delta \Pi_j + B_2 (\Delta \bar{K}_{Fe})_j + \\
 &\quad + B_3 (\Delta \bar{K}_V)_j + B_4 (\Delta \bar{K}_{st})_j]; \\
 \psi_0 &= C_0 + \frac{1}{t_{ff}} [C_1 \delta \Pi_j + C_2 (\Delta \bar{K}_{Fe})_j + \\
 &\quad + C_3 (\Delta \bar{K}_V)_j + C_4 (\Delta \bar{K}_{st})_j]; \\
 \psi_1 &= D_0 + \frac{1}{t_{ff}} [D_1 \delta \Pi_j + D_2 (\Delta \bar{K}_{Fe})_j + \\
 &\quad + D_3 (\Delta \bar{K}_V)_j + D_4 (\Delta \bar{K}_{st})_j]; \\
 \gamma_0 &= L_0 + \frac{1}{t_{ff}} [L_1 \delta \Pi_j + L_2 (\Delta \bar{K}_{Fe})_j + \\
 &\quad + L_3 (\Delta \bar{K}_V)_j + L_4 (\Delta \bar{K}_{st})_j]; \\
 \gamma_1 &= M_0 + \frac{1}{t_{ff}} [M_1 \delta \Pi_j + M_2 (\Delta \bar{K}_{Fe})_j + \\
 &\quad + M_3 (\Delta \bar{K}_V)_j + M_4 (\Delta \bar{K}_{st})_j],
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

где  $\lambda_0, \lambda_1, \psi_0, \psi_1, \gamma_0, \gamma_1$  – коэффициенты, характеризующие условную повреждаемость двигателя;

$A_0, \dots, A_4; B_0, \dots, B_4; C_0, \dots, C_4; D_0, \dots, D_4; L_0, \dots, L_4; M_0, \dots, M_4$  – постоянные коэффициенты уравнений линий регрессии.

После определения левых частей уравнений (2) можно определить эквивалентную наработку

$$t_e = \frac{\bar{K}_\tau - \Delta \bar{K}_{Fe} \lambda_0 - \Delta \bar{K}_V \psi_0 - \Delta \bar{K}_{st} \gamma_0}{\frac{1}{\tau_e} + \Delta \bar{K}_{Fe} \lambda_1 + \Delta \bar{K}_V \psi_1 + \Delta \bar{K}_{st} \gamma_1}$$

Для известной величины условной повреждаемости определим остаточную долговечность

$$\tau_{oct} = \sum_{j=1}^{j=k} \sum_{i=1}^{i=z} t_{ij} \left[ \frac{1}{\delta (\bar{K}_\tau, \Delta \bar{K}_{Fe}, \Delta \bar{K}_V, \Delta \bar{K}_{st})} - 1 \right],$$

где  $\delta = \frac{1}{\tau_e} t_e$ .

Для определения величины условной повреждаемости используется вероятностный метод, рассмотренный в работе [9].

### Выводы

Предложенный комплексный метод диагностирования может быть использован в авиакомпаниях, использующих самолеты или вертолеты с газотурбинными двигателями, которые имеют наработку, позволяющую статистически достоверно получить зависимости между постоянными коэффициентами

и относительными приращениями диагностических параметров.

### Литература

1. Александров В.Г. Контроль технической исправности самолетов и вертолетов. – М.: Транспорт, 1976. – 360 с.
2. Ямпольский В.И., Белоконь Н.И., Пилипосян Б.И. Контроль и диагностирование гражданской авиационной техники. – М.: Транспорт, 1990. – 182 с.
3. Сиротин Н.Н., Коровкин Ю.М. Техническая диагностика авиационных газотурбинных двигателей. – М.: Машиностроение, 1979. – 272 с.
4. Ахмедзянов А.М., Дубравский Н.Г., Тунаков А.П. Диагностика состояния ВРД по термогазодинамическим параметрам. – М.: Машиностроение, 1983. – 206 с.
5. Волянська Л.Г., Панін В.В., Гаююн Сунь. Методи і засоби підвищення газодинамічної стійкості компресорів газотурбінних двигунів. – К.: НАУ, 2005. – 200 с.
6. Программный комплекс для эксплуатационного мониторинга выработки ресурса основных деталей авиационного двигателя Д-18Т / Д.Ф. Симбирский, А.В. Олейник, В.А. Филяев и др. // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2004. – № 7/15. – С. 145-150.
7. Янко А.К. Определение остаточного ресурса ГТД на основе анализа изменения запасов прочности наиболее нагруженных элементов // Промышленная теплотехника. – К.: Наук. думка, 1980. – № 4. – С. 57-60.
8. Деклараційний патент на корисну модель МПК7GDI№3/00 «Спосіб оцінки запасу газодинамічної стійкості компресора газотурбінних двигунів в умовах експлуатації» – Л.Г. Волянська, І.Ф. Кінащук, Ф.І. Кірчу, В.В. Панів.
9. Лапшов В.Ф. Основы управления техническим состоянием авиационных газотурбинных двигателей в эксплуатации. – К.: КИИГА, 1989. – 108 с.

Поступила в редакцию 30.05.2006

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. А.А. Тамаргазин, Национальный авиационный университет, Киев.