

УДК 629.753.083.06:075.8

Ю.Н. ЧОХА, О.И. ЧУМАК

Национальный авиационный университет, Украина

**ОБОСНОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ДИНАМИЧНОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ГТД**

Обосновывается концептуально новый подход к процессу диагностики ГТД с использованием комплексных диагностических показателей качества и надежности для принятия эксплуатационного решения.

математическая модель, диагностика, управление качеством, надежность, техническое состояние, экспертные системы

Введение

В настоящее время к числу приоритетных научно-технических проблем, которые порождаются практикой проектирования, производства и использования по назначению технических изделий и сложных динамических систем, относятся проблемы поиска методов и разработки оптимальных технологий управления качеством технического состояния (ТС) и надежностью функционирования (НФ) этих изделий (систем) [1].

Под качеством ТС газотурбинного двигателя (ГТД) в соответствии с современными стандартами [2] следует понимать совокупность свойств газотурбинного двигателя, обуславливающих его пригодность к использованию по назначению.

Оценка качества ТС ГТД осуществляется по комплексному показателю качества ТС (W_S), который представляет собой обобщенную безразмерную количественную характеристику свойств двигателя, входящих в состав его качества ТС, и рассматривается применительно к определенным условиям жизненного цикла (проектирования, производства или эксплуатации).

В соответствии с современными стандартами [3] под надежностью функционирования ГТД понимают его способность реализовывать заданные функции (т.е. создание заданной величины тяги при за-

данной величине расхода топлива) при сохранении по времени наработки значений эксплуатационных показателей в заданных пределах, которые соответствуют заданным режимам и условиям эксплуатации.

Оценка надежности функционирования ГТД осуществляется по комплексному показателю вероятности безотказной работы ($P_S(t)$), который представляет собой обобщенную безразмерную количественную характеристику того, что в пределах заданного времени наработки двигателя он не потеряет работоспособности.

Учитывая бурное развитие интеллектуальных информационных технологий в виде экспертных систем, значительно выросла актуализация заинтересованности исследователей и инженеров к решению указанных проблем в промышленности, на транспорте, военном деле и других приложений наукоемких технологий ресурсосохранения [4].

Формулирование проблемы. Известные методы и результаты исследований указанных проблем имеют существенные недостатки, а именно:

- использование, как правило, скалярных диагностических признаков и чаще всего времени наработки изделий, которое значительно ограничивает возможности управления их текущим состоянием;
- недостоверный контроль и диагностирование качества ТС и надежности функционирования;

– неэффективное использование возможностей современных ЭВМ и интеллектуальных информационных технологий;

– негибкое использование ресурсов, оптимальных технологий эксплуатации изделий по техническому состоянию, при которых текущее ТС определяется не только по времени наработки, но и в многомерном пространстве диагностических параметров и признаков;

– применение математических моделей и методов, которые неадекватно или с низкой точностью описывают реальные процессы динамики изменения качества и надежности изделий в процессе их применения по назначению и др.

Преодоление этих недостатков приобрело значительную важность для изделий авиационной и космической техники. Особую актуальность проблема управления качеством ТС и НФ в процессе эксплуатации приобрела для таких функционально важных сложных динамических объектов, как авиационные ГТД, в которых деградационные процессы и отказы конструктивных составляющих создают опасные предпосылки к возникновению летных происшествий и в значительной мере влияют на безопасность, регулярность и социально-экономическую эффективность полетов [5, 6].

Именно в таком смысле надо понимать предложенную математическую модель текущей оценки динамики качества ТС и надежности функционирования авиадвигателей, которая позволяет использовать ее как базовую для принципиально новых интеллектуальных систем текущего контроля и диагностирования типа „диагноз – качество – надежность” („д-к-н”).

Решение проблемы.

Базовая многомерная математическая модель оценки динамики технического состояния ГТД

Будем считать, что существует корреляционная связь между текущими значениями диагностических

признаков (параметров), которые измеряются (рассчитываются) по алгоритму комплексного контрольно-расчетного (ККР) метода системой контроля и диагностирования во время работы ГТД [7], и показателями качества ТС (W_S) и надежности функционирования (P_S). Причем эта связь осуществляется через текущие значения комплексного диагностического показателя (КДП) (K_{Σ}) двигателя и время его наработки (t_i) с начала эксплуатации (СНЭ) (или после последнего ремонта (ППР)). Если считать, что в начальный момент регулярной эксплуатации ГТД (t_0), значение его КДП $K_{\Sigma 0}(t_0) \approx 1,0$, что свидетельствует о заранее определенном начальном („исправном”) ТС двигателя, то ему соответствуют начальные значения показателя качества ТС $W_{S0}(K_{\Sigma 0}, t_0) \approx 1,0$ и показателя НФ $P_{S0}(K_{\Sigma 0}, t_0) \approx 1,0$.

В период регулярной эксплуатации ГТД значение $K_{\Sigma i}$ изменяется, что характеризует деградацию его технического состояния в связи с появлением и развитием эксплуатационных неисправностей конструктивных узлов (элементов) проточной части. При этом изменение значений $K_{\Sigma i}$ может происходить в разных направлениях от начальной величины $K_{\Sigma 0}(t_0)$, в зависимости от места появления неисправности (узлов „холодной” или „горячей” части ГТД) [7].

Итак, в общем случае при значениях

$$K_{\Sigma 1}(t_1) = K_{\Sigma 0}(t_0) \pm \Delta K_{\Sigma_{изм.}} = 1,0 \pm \Delta K_{\Sigma_{изм.}}, \quad (1)$$

где $\Delta K_{\Sigma_{изм.}}$ – допуск на величину систематической погрешности измерений штатной системы контроля параметров ГТД, техническое состояние проточной части считается „исправным”, т.е. текущие значения диагностических параметров двигателя отвечают заданным техническим условиям.

При значениях

$$K_{\Sigma 2}(t_2) = K_{\Sigma 1}(t_1) \pm [\Delta K_{\Sigma i}(\Delta t_i)]_{дон.}, \quad (2)$$

где $[\Delta K_{\Sigma i}(\Delta t_i)]_{дон.}$ – допуск на предельно допустимое отклонение диагностических параметров от ТУ в межремонтный период наработки (Δt_i) ГТД, техни-

ческое состояние проточной части двигателя считается „неисправным”, но „работоспособным”, т.е. является предотказным ТС.

При значениях

$$K_{\Sigma i}(t_i) > (K_{\Sigma i}(t_0) + [\Delta K_{\Sigma i}(\Delta t_i)]_{дон.})$$

или

$$K_{\Sigma i}(t_i) < (K_{\Sigma i}(t_0) - [\Delta K_{\Sigma i}(\Delta t_i)]_{дон.}) \quad (3)$$

техническое состояние проточной части двигателя считается „неработоспособным”, что равнозначно его отказу.

Соответственно изменению значений КДП двигателя ($K_{\Sigma i}(t_i)$) изменяются и текущие значения показателей качества ТС (W_{Si}) и надежности функционирования (P_{Si}) ГТД. Но это изменение имеет односторонний характер, т.е.

$$\begin{aligned} 0 \leq \{W_{Si}(K_{\Sigma i}, t_i)\} \leq 1,0; \\ 0 \leq \{P_{Si}(K_{\Sigma i}, t_i)\} \leq 1,0, \end{aligned} \quad (4)$$

что свидетельствует об ухудшении качества ТС и НФ авиадвигателя из-за наличия и развития эксплуатационных неисправностей узлов (элементов).

Таким образом, исходя из вышеприведенных соображений, получаем систему нелинейных дифференциальных уравнений, которые в общем виде описывают динамичную систему диагностирования ГТД типа «д-к-н»:

$$\begin{aligned} K_{\Sigma i}(t_i) = K_{\Sigma 0}(t_0) \pm \left(\Delta K_{\Sigma узм} + \frac{dK_{\Sigma i}}{dt_i} \Delta t_i + \right. \\ \left. + \frac{d^2 K_{\Sigma i}}{dt_i^2} \Delta t_i^2 + \dots + \frac{d^n K_{\Sigma i}}{dt_i^n} \Delta t_i^n \right); \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} W_{Si}(K_{\Sigma i}(t_i)) = W_{S0}(K_{\Sigma 0}(t_0)) - \\ - \left[\Delta W_{Sээкс.}(\Delta K_{\Sigma узм}) + \frac{dW_{Si}}{dK_{\Sigma i}} \cdot \frac{dW_{Si}}{dt_i} \Delta t_i + \right. \\ \left. + \frac{d^2 W_{Si}}{dK_{\Sigma i}^2} \cdot \frac{d^2 W_{Si}}{dt_i^2} \Delta t_i^2 + \dots + \right. \\ \left. + \frac{d^n W_{Si}}{dK_{\Sigma i}^n} \cdot \frac{d^n W_{Si}}{dt_i^n} \Delta t_i^n \right]; \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} P_{Si}(K_{\Sigma i}(t_i)) = P_{S0}(K_{\Sigma 0}(t_0)) - \\ - \left[\Delta P_{Sээкс.}(\Delta K_{\Sigma узм}) + \frac{dP_{Si}}{dK_{\Sigma i}} \cdot \frac{dP_{Si}}{dt_i} \Delta t_i + \right. \\ \left. + \frac{d^2 P_{Si}}{dK_{\Sigma i}^2} \cdot \frac{d^2 P_{Si}}{dt_i^2} \Delta t_i^2 + \dots + \frac{d^n P_{Si}}{dK_{\Sigma i}^n} \cdot \frac{d^n P_{Si}}{dt_i^n} \Delta t_i^n \right]. \end{aligned} \quad (7)$$

Если в уравнениях (5), (6), (7) производные высших порядков считать несущественно малыми величинами, которыми можно пренебречь, а исходные величины показателей $K_{\Sigma 0}(t_0)$, $W_{S0}(K_{\Sigma 0}, t_0)$, $P_{S0}(K_{\Sigma 0}, t_0)$ – определенными (или заданными), то вышеупомянутые уравнения принимают следующий упрощенный вид:

$$\begin{cases} K_{\Sigma i}(t_i) = 1 \pm \left(\Delta K_{\Sigma узм} + \frac{dK_{\Sigma i}}{dt_i} \Delta t_i \right); \\ W_{Si}(K_{\Sigma i}(t_i)) = 1 - \\ - \left[\Delta W_{Sээкс.}(\Delta K_{\Sigma узм}) + \frac{dW_{Si}}{dK_{\Sigma i}} \cdot \frac{dW_{Si}}{dt_i} \Delta t_i \right]; \\ P_{Si}(K_{\Sigma i}(t_i)) = 1 - \\ - \left[\Delta P_{Sээкс.}(\Delta K_{\Sigma узм}) + \frac{dP_{Si}}{dK_{\Sigma i}} \cdot \frac{dP_{Si}}{dt_i} \Delta t_i \right]. \end{cases} \quad (8)$$

В этой системе уравнений (8) производные показателей диагноза, качества ТС и НФ оценивают динамику изменения текущего ТС авиадвигателя по времени его наработки СНЭ (или после последнего ремонта).

Заключение

Итак, систему дифференциальных уравнений (8) можно считать математической моделью (ММ) оценки динамики ТС ГТД в многомерном пространстве (времени наработки (t_i) – технического диагноза ($K_{\Sigma i}$) – качества ТС (W_{Si}) – надежности функционирования (P_{Si})) любого отдельного экземпляра авиадвигателя, который диагностируется в процессе регулярной эксплуатации.

Графическая интерпретация предложенной ММ (8) представлена на рис. 1.

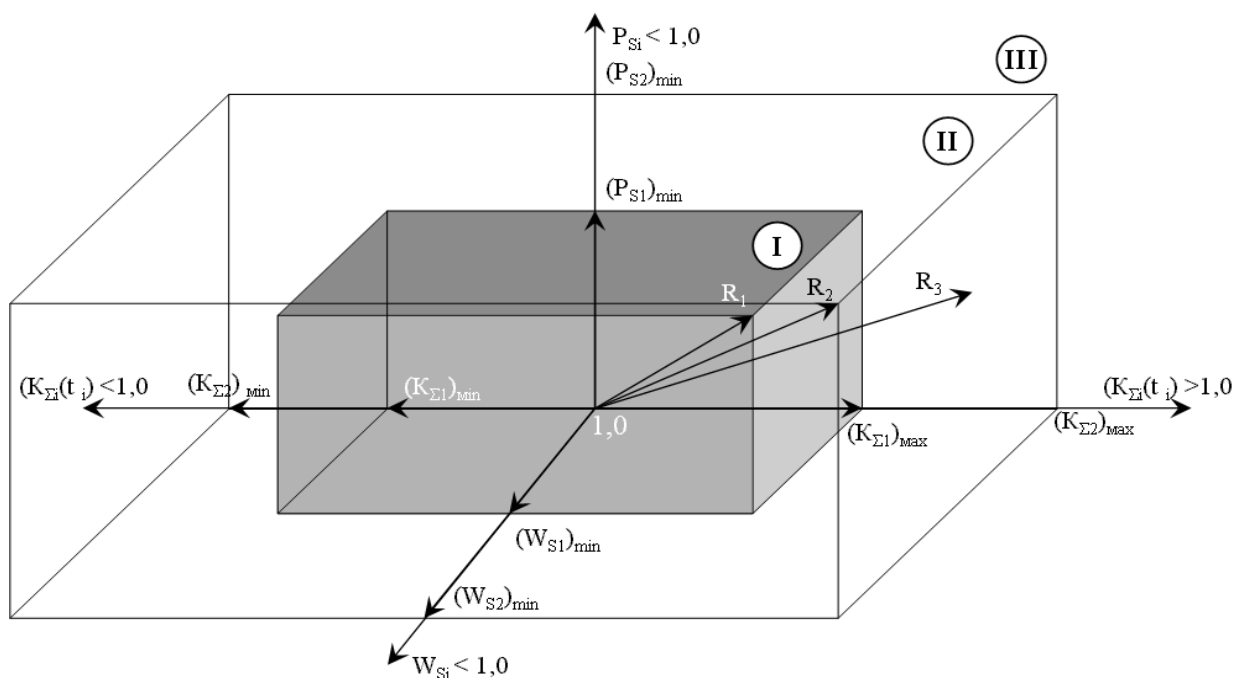


Рис. 1. Схема математической модели динамической системы диагностирования ГТД „диагноз – качество – надежность”:

I, II, III – характерные эксплуатационные диапазоны изменения показателей качества ТС и надежности функционирования в зависимости от диапазона изменения текущего показателя диагноза по времени наработки двигателя;

$\vec{R}_1, \vec{R}_2, \vec{R}_3$ – суммарные векторы текущих показателей диапазона, качества ТС и надежности функционирования в характерных диапазонах их изменения

В дальнейшем эта модель будет использована как базовая для обоснования принципиально новой концепции динамической системы текущего контроля и диагностирования авиационных ГТД типа „диагноз – качество – надежность”.

Литература

1. Барзилович Э.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем. – М.: Наука, 1982. – 231 с.
2. ДСТУ ISO 9001-2001. Системи управління якістю. Основні положення та словник. – К.: Держстандарт України, 2001. – 27 с.
3. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки, терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1995. – 92 с.
4. Герасимов Б.М., Дивизинюк М.М., Сучбач І.Ю. Системи підтримки прийняття рішень: проектування, застосування, оцінка ефективності. – Севастополь: Государственный океанариум, 2004 – 320 с.

ности. – Севастополь: Государственный океанариум, 2004 – 320 с.

5. Безопасность авиации / В.П. Бабака, В.П. Харченко, В.О. Максимов и др.; Под ред. В.П. Бабака. – К.: Техника, 2004. – 584 с.
6. Игнатов А.А., Тараненко А.Г. Авиационные системы диагностирования. – К.: КИИГА, 1991. – 104 с.
7. Дмитриев С.А., Чоха Ю.Н. Применение комплексного контрольно-расчетного метода диагностирования конструктивных узлов типовых ТРДД для динамических ЭСД // Вестник двигателестроения. – 2004. – № 1. – С. 27-29.

Поступила в редакцию 28.01.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.А. Игнатов, Национальный авиационный университет, Киев.