

УДК 681.518.25

ТОПОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ЗАДАЧЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АВИАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА

А.А. ЛОБАТЫЙ, А.И. АНТОНОВ

Военная академия Республики Беларусь
ВА РБ, Минск, 220057, Беларусь

Поступила в редакцию 29 апреля 2003

Рассматриваются различные порядки и правила эксплуатации алгоритмов прогнозирования технического состояния. Анализируются различные аспекты эксплуатации технических систем "по состоянию". Предлагаются топологические подходы при решении задач вероятностного анализа на основе теории динамических систем случайной структуры. Показано, что чем выше иерархический уровень подсистемы, тем меньше вероятность работоспособного функционирования.

Введение

Одним из путей совершенствования порядка или правил эксплуатации авиационного комплекса является внедрение в практику эксплуатации алгоритмов прогнозирования технического состояния.

Задачу прогнозирования можно в общем случае сформулировать следующим образом. Имеется параметр, который считается случайной или неслучайной величиной, либо случайной функцией. Необходимо определить изменение этого параметра на будущие интервалы времени по результатам его наблюдений. Случайность изменения параметра во времени приводит к вероятностным методам прогнозирования.

В связи с наметившейся тенденцией старения военной техники и ограниченностью финансовых средств для ее доработок и модернизации все большее распространение получает система эксплуатации технических систем "по состоянию". Эта система в отличие от системы эксплуатации "по заданному ресурсу" предполагает вначале измерять параметры эксплуатируемых систем, а затем принимать решение о проведении тех или иных работ по их техническому обслуживанию. Каждая из систем эксплуатации имеет как свои достоинства, так и свои недостатки. Имеет смысл использовать оба подхода, определяя текущее состояние объекта эксплуатации, и на основании этого корректировать ресурсы элементов сложной технической системы.

В настоящее время накоплен большой объем информации по оценке технического состояния техники, состоящей на вооружении частей ВВС. Имеется, в частности, большой статистический материал по отказам и неисправностям подсистем авиационных комплексов. С возрастающей достоверностью интенсивности отказов и неисправностей можно считать заданными. При эффективном использовании современных методов обработки информации этот материал позволяет осуществлять прогноз технического состояния системы.

Следует учесть, что отказы того или иного элемента комплекса оказывают разное воздействие на функционирование комплекса в целом. В то же время существенное изменение свойств одной из подсистем влечет за собой изменение свойств других подсистем. Произвести учет этого влияния позволяют предложенные в настоящей работе топологические подходы при

решении задач вероятностного анализа на основе теории динамических систем случайной структуры.

Методика исследования

В [1] получены топологические уравнения для определения структур (состояний) подсистем сложной динамической системы:

$$\dot{P}^{(s)}(t) = -P^{(s)}(t) \left\{ \sum_{r=1, r \neq s}^{ns} [V_0^{(sr)}(t) + V^T V^{(sr)}(t) - \tilde{A} \mu^{(sr)}(t)] \right\}, \quad (1)$$

где $P^{(s)}(t) = \left\| P_1^{(s)}(t), \dots, P_i^{(s)}(t), \dots, P_{nv}^{(s)}(t) \right\|^T$ — вектор (матрица-столбец), состоящий из вероятностей $P_i^{(s)}$ ($i = \overline{1, nv}, s = \overline{1, ns}$) нахождения i -х подсистем в s -м состоянии. При этом считается, что все подсистемы имеют одинаковое число структур ns . В соответствии с условием нормировки $\sum_{s=1}^{ns} P_i^{(s)} = 1$; $V_0^{(sr)} = V_0^{(sr)}(t) = \left\| V_{i0}^{(sr)}(t), \dots, V_{i0}^{(sr)}(t), \dots, V_{nv0}^{(sr)}(t) \right\|^T$ — вектор интенсивностей перехода i -й подсистемы в r -е состояние под действием своих внутренних факторов; $V^{(sr)} = V^{(sr)}(t) = \left\| V_1^{(sr)}(t), \dots, V_i^{(sr)}(t), \dots, V_{nv}^{(sr)}(t) \right\|^T$ — вектор интенсивностей перехода в r -е состояние смежной с i -й k -й подсистемы; $\mu^{(sr)} = \mu^{(sr)}(t) = \left\| \mu_1^{(sr)}(t), \dots, \mu_j^{(sr)}(t), \dots, \mu_{n\mu}^{(sr)}(t) \right\|^T$ — вектор интенсивностей перехода в r -е состояние k -го канала связи, инцидентного i -й подсистеме; V^T — транспонированная матрица смежности системы [2] размерности $nv \times nv$ (рассматривается ориентированный граф системы); \tilde{A} — приведенная матрица инцидентности (получается из матрицы инцидентности системы A заменой всех положительных элементов нулями [1]); $\overset{\Delta}{=}$ — означает равенство по определению.

Рассмотрим применимость уравнения (1) для решения практических задач прогноза технического состояния систем на примере простейшей модели авиационного комплекса, структурная схема которого представлена на рис. 1.

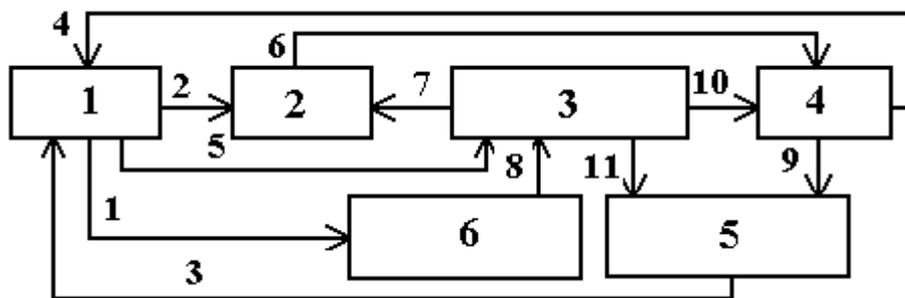


Рис. 1. Структурная схема авиационного комплекса: 1 — информационно-вычислительная система; 2 — система автоматического управления; 3 — летчик; 4 — самолет; 5 — установки вооружения; 6 — прицельная система

Задача формулируется следующим образом. Для сложной системы, структурная схема которой может быть представлена в виде ориентированного графа, заданы интенсивности отказов V_{om} и неисправностей V_{nc} отдельных подсистем. Необходимо произвести вероятностный прогноз технического состояния системы на заданные интервалы времени. На практике обычно рассматривают четыре основных состояния КАВ: исправное, неисправное, работоспособное, неработоспособное [3].

Система дифференциальных уравнений для определения вероятностей исправного и работоспособного состояний системы в соответствии с (1) имеет вид

$$\dot{P}^{(u)}(t) = -P^{(u)}(t) \left\{ \sum_{r=1(r \neq u)}^{ns} [V_0^{(ur)}(t) + V^T V^{(ur)}(t) - \tilde{A} \mu^{(ur)}(t)] \right\}, \quad (2)$$

$$\dot{P}^{(p)}(t) = -P^{(p)}(t) \left\{ \sum_{r=1(r \neq p)}^{ns} [V_0^{(pr)}(t) + V^T V^{(pr)}(t) - \tilde{A} \mu^{(pr)}(t)] \right\}. \quad (3)$$

При этом вероятности неисправного и неработоспособного состояний системы определяются по формулам

$$P^{(nu)}(t) = 1 - P^{(u)}(t), \quad (4)$$

$$P^{(np)}(t) = 1 - P^{(p)}(t). \quad (5)$$

Начальные значения вероятностей $P^{(u)}(t_0) = P^{(u)}_0$ и $P^{(p)}(t_0) = P^{(p)}_0$ задаются единичными при условии полных и достоверных измерений текущих значений параметров системы или, в противном случае, – меньшими единицы.

Одной из особенностей КАВ является то, что его работоспособное состояние существенно зависит от влияния других подсистем боевого авиационного комплекса. Для авиационного комплекса, представленного на рис. 1, вектор вероятностей работоспособных состояний подсистем имеет вид

$$P^{(p)}(t) = \left\| P_1^{(p)}(t), P_2^{(p)}(t), P_3^{(p)}(t), P_4^{(p)}(t), P_5^{(p)}(t), P_6^{(p)}(t) \right\|^T. \quad (6)$$

Матрица смежности и приведенная матрица инцидентности для данного примера имеют вид

$$V = \begin{Bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{Bmatrix}, \quad \tilde{A} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{Bmatrix}.$$

Для заданных значений интенсивностей отказов v_i ($i=1,6$) подсистем в среде Mathcad проведено исследование влияния топологии системы на вектор вероятностей (6).

На рис. 2 представлены графики изменения вероятностей работоспособных состояний подсистем авиационного комплекса (нижний индекс соответствует номеру подсистемы). При этом на одних графиках изображены значения вероятностей без учета топологии системы и с ее учетом (с индексом "t"). Значения интенсивностей переходов задавались следующие: $v_{10}=0,05$, $v_{20}=0,02$, $v_{30}=0,015$, $v_{40}=0,005$, $v_{50}=0,01$, $v_{60}=0,03$. Остальные интенсивности переходов приняты нулевыми.

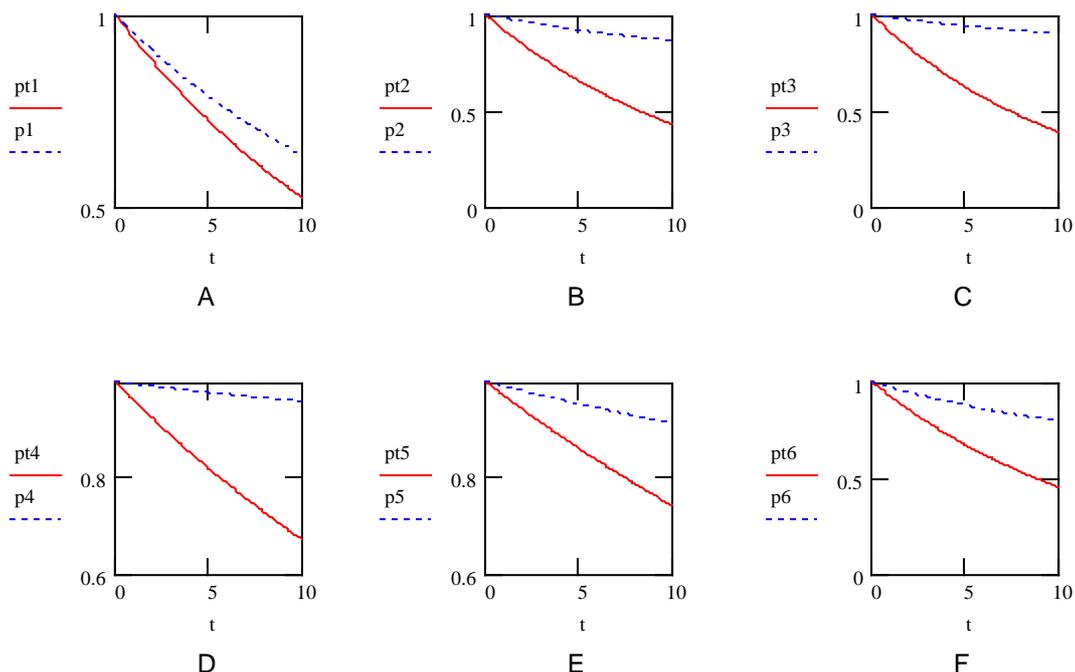


Рис. 2. Вероятности работоспособных состояний подсистем

Из приведенных результатов видно, что чем выше иерархический уровень подсистемы, тем более она подвержена влиянию других подсистем, в результате которого уменьшается вероятность работоспособного (исправного) функционирования данной подсистемы.

TOPOLOGICAL METHOD OF PREDICTION PROBLEM OF AVIATION SYSTEM TECHNICAL CONDITION

A.A. LOBATYI, A.I. ANTONOV

Abstract

Different orders and procedures to predict device status condition and its performance are reviewed. The aspects of "on state" technical system operation are analyzed. Topological approaches for solutions of probabilistic tasks based on dynamic systems theory of random structure are proposed.

Литература

1. Лобатый А.А. Топология мультиструктурных технических систем. Мн., 2000.
2. Сигорский В.П. Математический аппарат инженера. Киев, 1975.
3. Козлов Б.А., Ушаков И.А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. М., 1975.