

УДК 629.7+519.2

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕТЕВЫХ МЕТОДОВ

© 2009 В.Н. Писаренко, А.Н. Коптев

Самарский государственный аэрокосмический университет

Поступила в редакцию 25.02.2009

В статье рассмотрены методы построения диагностических тестов, основанные на имитационном моделировании сложных технических систем, на примере АБСУ-154-2.

Ключевые слова: АБСУ, система, модель, сеть, агрегат, связи, соединение, граф, переход, диагностика.

Автоматическая бортовая система управления АБСУ-154-2, эксплуатируемая на самолете Ту-154М, состоит из 75-и компонентов, взаимодействует с 12-ю бортовыми системами самолета, функционирует в 7-и режимах работы и представляет собой сложную динамическую аналоговую систему [1, 2, 3] подверженную многочисленным отказами и неисправностям, приводящим к изменению технического состояния системы. Исследование состояния АБСУ необходимо при выявлении и устранении отказов и неисправностей, а также для восстановления работоспособности авиационной техники. При рассмотрении задач функционирования АБСУ воспользуемся формальной моделью, учитывающей смену состояний, разработку которой осуществим с использованием метода, предложенного Н. Н. Бусленко и базирующегося на понятии агрегативной системы [4].

Любая агрегат (образующая)  $g \in G$  предметной области (ПО) [5] характеризуется следующими множествами: структурой связей - множеством связей  $\beta \in C$  возможных соединений образующих между собой, множеством моментов времени  $T$ , множеством входных сигналов  $X$ , множеством выходных сигналов  $Y$ , множеством состояний  $Z$  в каждый момент времени  $t \in \tilde{A}$ . Агрегат переходит из одного состояния  $z_1(t_1)$  в другое состояние  $z_2(t_2)$  за малый промежуток времени  $\Delta t$ , т. е. имеет место скачок состояний  $\Delta z$ . Переход агрегата из одного состояния в другое происходит под действием внутренних параметров  $h(t) \in \tilde{I}$ , входных сигналов  $x(t) \in X$ , случайных операторов  $v(t) \in V$ , описывающих случайный характер входного сигнала  $x$  и  $u(t) \in U$ , описывающих случайный характер изменения состояний агрегата в моменты времени  $t$  между поступлениями входных сигналов [4].

Таким образом, объект [5] ПО  $G^b \in S$  будем описывать следующей совокупностью множеств:

$$S = \{G, c, \dot{\Delta}, \ddot{\Delta}, Y, Z, H, V, U\}. \quad (1)$$

где  $S$  – система;  
 $G^b$  – множество образующих, представляющих собой конкретную подсистему  $b$   
 $C$  – структура связей;  
 $T$  – множество моментов времени;  
 $X$  – множество входных сигналов;  
 $Y$  – множество выходных сигналов;  
 $Z$  – множество состояний;  
 $H$  – множество внутренних параметров;  
 $V$  – множество случайных операторов;  
 $U$  – множество характеров состояний системы.

Формальная модель (1) позволяет организовать моделирование процессов функционирования системы АБСУ или одну из ее составных подсистем с учетом возникновения отказов и неисправностей компонентов системы методом итерационного процесса вычислений [4]. Состояние системы  $z_2(t_{i+1})$  в некоторый момент времени  $t_{i+1}$  после наступления  $i$ -го отказа определяется ее текущим  $z_1(t_i)$  состоянием и вероятностью появления  $i$ -го отказа. Можно считать, что процесс смены состояния в данном случае является следствием произошедшего повреждения одного из компонентов системы АБСУ или нарушением одной из функциональных связей.

Методическая сложность учета влияния отказов элементов возникает при сложной структуре взаимосвязи и взаимодействия компонентов объекта ПО. Наиболее сложными случаями моделирования процессов функционирования является моделирование разветвляющихся процессов, а также схем с резервированием [4].

Для схемы с последовательным соединением элементов выход из строя одного из них приводит к нарушениям выходных характеристик всей системы. Поэтому в целях упрощения участки схемы с последовательным соединением элемен-

Писаренко Виктор Николаевич, доцент кафедры эксплуатации авиационной техники.

Коптев Анатолий Никитович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой. E-mail: eat@ssau.ru.

тов будем представлять в виде одного обобщенного элемента - макропозиции  $Q$ .

Временная последовательность отказов элементов легко учитывается в макро- $E$ -сетевых моделях процессов функционирования, так как в них динамика смены состояния может быть непосредственно увязана со временем.

Формально макро- $E$ -сеть определим множеством  $MEN$  [6]

$$MEN = (D, \dot{O}, C, S), \quad (2)$$

где:  $P$  – конечное множество позиций;

$T$  – конечное непустое множество переходов;

$C$  – множество связей образующих, соединяющих между собой множество позиций и переходов;

$S$  – множество функциональных правил (ограничений).

$$D = (g, r, Q), \quad (3)$$

где  $g$  – образующие – простые позиции;

$r$  – решающие позиции, минимальная совокупность которых определяет выбор контролируемых точек оценки состояния объекта ПО;

$Q$  – макропозиции модели.

Множество переходов

$$\dot{O} = \{\dot{O}^0, \dot{O}^A, \dot{O}^N, \dot{O}^F, T^J, T^{(cg)}, T^X, T^Y\} \quad (4)$$

описывает базовые структуры переходов, которые подразделяются на простые переходы  $T^T$ , переходы “исполнение” –  $T^E$ , “включение” –  $T^N$ , “выключение” –  $T^F$ , “разветвление” –  $T^J$ , “перераспределение” –  $T^{(cg)}$  и макропереходы  $T^X$  – (“распределение”) и  $T^Y$  – (“выбор”).

Дуги  $\beta \in G$  связывают вершины  $P$  и  $T$  по следующему правилу [2]: начало и конец любой дуги соединяет только разноименные вершины  $P$  и  $T$ , т. е.

$$D \cap \tilde{A} = Q. \quad (5)$$

Функциональные правила включают в себя

$$S = (m, b, R, L), \quad (6)$$

где:

$$m: P \rightarrow (0,1) \text{ – разметочная функция,} \quad (7)$$

$$b: T \rightarrow L \text{ – функция обозначения,} \quad (8)$$

$R$  – решающая функция,

$$L = U \cap V \text{ – используемый алфавит,} \quad (9)$$

где:  $U$  – входной алфавит сигналов управления,

$V$  – выходной алфавит сигналов управления.

Разметочная функция  $m$  устанавливает в каждой позиции  $p_e$  в соответствии с правилом срабатывания переходов определенное число меток  $\Sigma = (0,1)$ .

Функция обозначения  $b$  показывает, какие входные сигналы  $U$  из внешней среды влияют на срабатывание переходов  $T$  и какие воздействия формируются в сети в результате их срабатывания.

Решающая функция  $R$  позволяет указать позиции, от которых зависит срабатывание перехода  $T$  в рассматриваемый момент времени, и

указать позиции, в которые должна перейти метка после его срабатывания.

В макро- $E$ -сетях решающие позиции  $r_s$  позволяют реализовать управление появлением меток в одной или нескольких простых позициях  $p_e$  с помощью внутренних связей.

Пример сетевой модели продольного канала АБСУ-154-2 в режиме автоматического управления с использованием макро- $E$ -сетевых моделей, построенной с учетом возможных повреждений компонентов системы приведен на рис. 1.

Функциональная диагностическая модель – базовая структура для построения графической модели и матрицы состояний продольного канала АБСУ. На основе теории графов построим графическую диагностическую модель продольного канала АБСУ в режиме стабилизации высоты и управления.

Состояние представленной модели может быть охарактеризовано с помощью ориентированного графа, в котором число узлов равно числу конечных состояний системы, а число ребер всей совокупности возможных переходов из одного состояния в другое.

Графическая диагностическая модель продольного канала АБСУ, представленная на рис. 2 характеризуется множеством входов  $P(p_1...p_n)$ , множеством выходов  $U(u_1...u_m)$ , множеством вершин  $T(t_1...t_s)$  и множеством дуг  $G = \{(\beta_1\beta_2), (\beta_1\beta_3), (\beta_2\beta_4)...\}$ .

Теория графов допускает возможность формальных преобразований одного графа в другой, упрощения многочисленных связей, что позволяет в отдельных случаях минимизировать число вершин, отражающих структуру графа, а, следовательно, число блоков, подлежащих контролю.

Одной из модификаций информационной модели может быть матрица ее состояний. Матрица состояний – формализованный документ. Матрица состояний диагностической модели дает полное описание множеств состояний  $S(s_1...s_n)$ , множеств проверок или сигналов  $U(u_1...u_k)$ . Число состояний  $n = 2^k$ , где  $k$  – число выходных сигналов, равное числу функциональных блоков. Общее число проверок в схеме  $2^k - 1$ . В матрице состояний каждый столбец (строка) проверок характеризуется определенным количеством информации о работоспособности всей системы или отдельной группы блоков. Количество информации о работоспособности соответствует числу единиц, а количество информации о неработоспособности – числу нулей. Проведя все положенные проверки, можно определить не только отказ, но и отказавший блок модели и функциональной схемы.

АБСУ как объект технического диагностирования может находиться в  $n$  состояниях поля

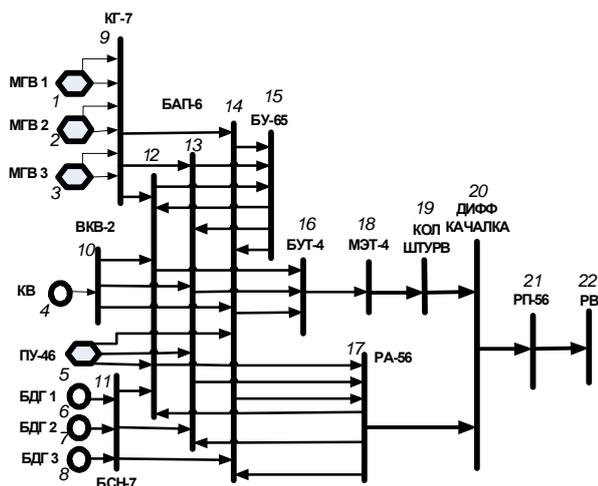


Рис.1. Сетевая модель продольного канала АБСУ в режиме автоматического управления

$S$ , причем  $s_i \in !S$ ,  $i=1,.. i$ . В качестве состояний системы АБСУ могут рассматриваться работоспособное или неработоспособное состояния отдельных блоков, входящих в систему, или отдельные значения параметров (параметр в допуске, не в допуске или принадлежит различному уровню квантования). Носителем сообщения является результат проверки  $\pi_i \in \mathbb{I}$ . Минимальное число параметров для контроля работоспособности – внешне устойчивое множество, выбирается путем преобразования функциональной диагностической модели по определенным правилам [7].

Для оценки состояния всего продольного канала системы АБСУ-154-2, сложной системы работающей в режиме автоматического управления, достаточно измерение параметров для кон-

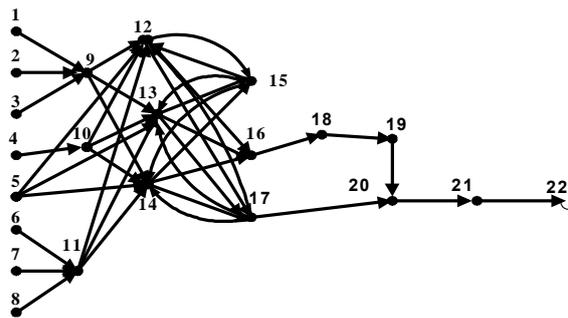


Рис. 2. Ориентированный граф ФДМ продольного канала АБСУ

троля работоспособности системы производить по состоянию сигналов на выходах узлов позиций 12, 13, 14, т.е. контроль продольного канала АБСУ следует производить по параметрам решающих позиций - блоков БАП-6 системы АБСУ-154-2.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. АБСУ-154-2. Руководство по ТЭ 6В1.623.073 ИЭЗ 1984.
2. Коптев А.Н. Системы самолетовождения. – М.: Машиностроение, 1984. – 128с
3. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ. – М.: Высшая школа, 1989.
4. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 399 с.
5. Устенко Ф.С. Основы математического моделирования и алгоритмизации процессов функционирования сложных систем. – М.: Наука, 2002. – 406 с.
6. Васильев В.В., Кузьмук В.В. /Под ред. Хорошевского В.Г. Сети Петри, параллельные алгоритмы и модели мультипроцессорных систем. – Киев: Наук. Думка, 1990. – 216 с.
7. Котов В.Е. Сети Петри. - М.: Наука, 1984. – 340 с.

## SIMULATION MODEL OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS OF AIRCRAFT EQUIPMENT WITH THE USE OF GRAPHS

© 2009 V.N. Pisarenko, A.N. Koptev

Samara State Aerospace University

In the article methods of diagnostic test, based on simulation model of complex technical system on AFCS-154-2 are presented.

Key words: AFCS, system, model, circuitry, unit, bonds, system fie, graph, transfer, fault diagnosis.