

Еленев В.Д.

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ БОРТОВЫХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ НАКАПЛИВАЮЩИХСЯ ОТКАЗОВ ИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНЫХ СРОКАХ АКТИВНОГО СУЩЕСТВОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Возрастание сроков активного существования космических аппаратов (КА) обуславливает необходимость разработки методов оценки технического состояния бортовых систем (БС) с учетом накапливающихся отказов их элементов, происходящих как под воздействием внутренних факторов, связанных с надежностью элементов, так и под воздействием внешних факторов (воздействия метеорного и техногенного вещества, радиации и др.).

При решении задачи оценки технического состояния будем рассматривать КА в виде динамической системы с дискретными событиями (ДСДС), в которой "состояние" БС изменяется во времени не непрерывно, а только в дискретные моменты времени. В этом случае при рассмотрении задачи можно использовать формальную модель, учитывающую смену состояний технической системы, разработка которой осуществляется с использованием подхода, предложенного И.Н. Бусленко и базирующегося на понятии агрегативной системы [1]. При этом подходе процесс смены состояний является процессом накопления повреждений технической системой, который определяется потоком отказов ее поврежденных элементов.

Рассмотрим некоторую техническую систему, относящуюся к классу ДСДС, которая в каждый момент времени t находится в одном из возможных состояний Z_i и способна перейти из одного состояния в другое. В начальный момент времени t_0 определим состав элементов N_0^i и структуру S_0^i рассматриваемой технической системы. В общем случае состояния элементов характеризуются взаимосвязанными случайными величинами: p – вероятностью работоспособного состояния и q – вероятностью состояния отказа. При этом $p=1-q$.

Введем предикат x_i для обозначения состояния i -го элемента:

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й элемент работоспособен,} \\ 0, & \text{если } i\text{-й элемент отказал.} \end{cases}$$

Примем допущение, что состояние Z системы с учетом ее структуры S полностью определяется состоянием ее элементов $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$.

Пусть в рассматриваемой системе, состоящей из n элементов, все ее элементы в начальный момент времени находятся в полном работоспособном состоянии с вероятностью

В некоторый момент времени под воздействием внешних факторов часть элементов m из n находятся в состоянии отказа с некоторой вероятностью $q_i, i=1, \dots, m$.

Последовательность наступления отказов m элементов системы:

$$q_1 \rightarrow q_2 \rightarrow \dots \rightarrow q_i \rightarrow \dots \rightarrow q_m$$

приводит к соответствующей динамике смены состояний:

$$z_1 \rightarrow z_2 \rightarrow \dots \rightarrow z_i \rightarrow \dots \rightarrow z_m$$

В этом случае количественная оценка изменения технического состояния системы с учетом накапливающихся повреждений при многократном наступлении отказов ее элементов может быть основана на рекуррентном соотношении вида:

$$Q_m(x) = 1 - (1 - Q_{m-1})(1 - q_m) \quad (1)$$

или

$$Q_m(x) = Q_{m-1}(1 - q_m) + q_m \quad (2)$$

где $Q_m(x)$ – текущее состояние системы, Q_{m-1} – предыдущее состояние системы на момент времени t_{m-1} , q_m – вероятность отказа системы на рассматриваемый момент времени t_m .

Выражение (2) отражает итерационный характер и очень хорошо согласуется с расчетной схемой имитационного моделирования технического состояния систем в стохастической постановке.

Моделирование процесса накопления информации о состоянии системы удобно проводить с использованием макро- E -сетевых моделей [2]. В этом случае накопление информации о состоянии системы может быть организовано с применением некоторого универсального типового сегмента сетевой модели, принцип работы которого заключается в следующем (рис. 1).

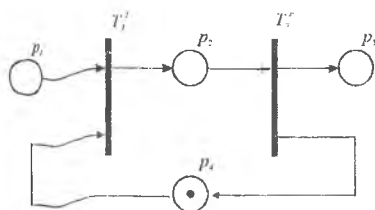


Рис. 1. Сегмент сетевой модели, обеспечивающий накопление информации

Текущее состояние $z(t)$ БС описывается с помощью атрибута метки p_4 . Позиция p_1 является входной для сегмента. Поступление в нее метки ассоциируется с новой информацией о вероятности отказа элемента. Переходы T_1^I и T_2^F образуют цикловой механизм изменения технического состояния БС.

При поступлении метки в позицию p_1

срабатывает переход T_1^I . Во время фазы активности этого перехода происходит изменение исходного технического состояния БС с учетом информации о вероятности отказа элемента,

которая поступила с приходом метки в позицию p_1 , а также информации о текущем техническом состоянии БС, которое описывается атрибутом метки в позиции p_4 .

После срабатывания перехода T_1^I в позицию p_2 поступает метка, атрибуты которой будут содержать информацию об изменении технического состояния БС, связанного с напавшим отказом одного из элементов БС.

При срабатывании перехода F_1^I происходит восстановление активности позиции p_4 средством помещения в нее метки, которая несет в себе информацию о новом текущем состоянии БС и одновременно снимает блокировку с перехода T_1^I .

Переход T_1^I опять готов к срабатыванию при условии поступления в позицию p_1 новой метки, которая будет ассоциироваться с появлением нового отказа одного из элементов БС.

Рассмотренная последовательность срабатывания переходов T_1^I и T_2^I по изменению технического состояния БС продолжается до момента окончания поступления меток в позицию p_1 .

В общем случае, приведенный сегмент сетевой модели является составной частью макро-Е-сетевых моделей оценки технического состояния БС. Использование таких моделей при решении задач моделирования процессов функционирования КА с учетом накапливающихся отказов элементов бортовых систем показало их широкие возможности и перспективность практического применения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. - М.: Наука, 1978.
2. Сети Петри, параллельные алгоритмы и модели мультипроцессорных систем. / Васильев В.В., Кузьмук В.В. АН УССР, Ин-т проблем моделирования в энергетике. Киев: Наук. думка, 1990.