

## Проектування та експлуатація радіоелектронної техніки

### УПРАВЛЕНИЕ СОСТОЯНИЕМ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ПРИ МАРКОВСКОМ ДИФФУЗИОННОМ НАБЛЮДЕНИИ ОПРЕДЕЛЯЮЩЕГО ПАРАМЕТРА

*Бабаков М.Ф., к.т.н. доцент; Ельцов П.Е.*

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского  
"Харьковский авиационный институт", г. Харьков, Украина*

Рассматривается задача оптимального управления состоянием радиоэлектронных средств (РЭС) по эксплуатационным наблюдениям  $x_k = x(t_k)$  значений определяющего параметра объекта  $x(t)$  с областью работоспособности  $G$  в дискретные (равноотстоящие друг от друга) моменты времени  $t_k$ . Оптимальный алгоритм определяется подобластью  $G_{II}$  профилактической регулировки параметра и сводится к принятию одного из трех решений: либо оставить объект в наблюдаемом состоянии, если  $x_k \in G \setminus G_{II}$ ; либо осуществить профилактическую регулировку параметра  $x(t)$ , если  $x_k \in G_{II}$ ; либо осуществить аварийную регулировку параметра  $x(t)$ , если  $x_k \notin G$ .

Известно решение указанной задачи, сведенное к задаче линейного программирования, при описании эксплуатационного изменения определяющего параметра  $x(t)$  однородной цепью Маркова с матрицей стационарных вероятностей перехода  $\|q_{ij}\|$  и минимизацией средних удельных потерь от принимаемых решений (или максимизацией коэффициента готовности [1]). Основной трудностью при этом является определение элементов  $q_{ij}$  матрицы переходов. Прямой путь их статистического оценивания на основе предварительного опытного наблюдения за достаточно представленной выборкой одинаковых объектов проблематичен из-за экономических соображений и уникальности самих объектов. Более предпочтительным есть использование адекватной модели деградации определяющего параметра, допускающей возможность расчета элементов  $q_{ij}$  на основе доступных априорных данных об объекте перед началом его эксплуатации с последующей их коррекцией в процессе эксплуатационного наблюдения.

Такой моделью может служить марковский немонотонный диффузионный процесс деградации, свойственный чисто электронным компонентам РЭС и обоснованный в работах Стрельникова В.П. [2]. Даже если исходный процесс деградации является монотонным (имеет место необрати-

мое накопление повреждений), то обязательное его измерение, сопровождаемое гауссовской аддитивной помехой, приводит результат к немонотонному виду.

Рассмотрение краевых условий, соответствующих немонотонному характеру реализаций параметра  $x(t)$ , наличию или отсутствию мгновенной индикации отказа, а также одностороннему  $(0, c)$  или двустороннему  $(c_1, c_2)$  ограничению области работоспособности позволяет получить решение уравнения Феккера-Планка-Колмогорова для однородного процесса деградации в виде плотностей вероятностей перехода  $\omega(x, t; x_0, t_0, a, b)$  процесса  $x(t)$  из состояния  $x_0$  в момент времени  $t_0$  в состояние  $x$  в момент времени  $t$  [3].

Параметры деградации  $a$ ,  $b$  однозначно определяют плотность наработки до отказа (DN-распределение) [2] и могут быть определены: либо априорно, через известные значения средней наработки до отказа  $T$  и коэффициента вариации наработки до отказа  $v$ ; либо апостериорно, по дискретным наблюдениям приращений  $\Delta x_k$  на  $k$ -м интервале с периодом отсчетов  $\Delta t$ . Эти два пути можно объединять, корректируя априорные оценки  $\hat{a}$ ,  $\hat{b}$  апостериорными по мере накопления значений  $\Delta x_k$ .

Расчетные соотношения для элементов  $q_{ij}$  матрицы переходов можно получить путем квантования области работоспособности на малые отрезки и аппроксимируя распределение параметра на них равномерным распределением [3]. При наличии мгновенной индикации отказов это соотношение необходимо дополнить краевыми условиями для перехода в поглощающие состояния отказа и самих поглощающих состояний [3, 4]

Описанный алгоритм прошел неоднократную проверку с применением системы компьютерной алгебры MathCad и используется в учебном процессе студентами направления подготовки "Радиоэлектронные аппараты" кафедры производства радиоэлектронных систем летательных аппаратов "ХАИ" [4].

### Литература

1. Дедков В.К. Основные вопросы эксплуатации сложных систем / В.К. Дедков, Н.А. Северцев. – М.: Высш. школа, 1976. – 408 с.
2. Стрельников В.П. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем / В.П. Стрельников, А.В. Федухин. – К.: 2002. – 486 с.
3. Бабаков М.Ф. Алгоритм управления состоянием электронной аппаратуры при диффузионной модели деградации определяющего параметра / М.Ф. Бабаков, И.И. Дерюга // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – 2007. № 1 (20). – с 17-24.
4. Бабаков М.Ф. Управление состоянием радиоэлектронной аппаратуры при эксплуатации: учеб. пособие / М.Ф. Бабаков, И.И. Дерюга. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т "Харьк. авиац. ин-т", 2008. – 68 с.