

УДК 621.37/39.029.3

А.А. АНДРУСЕВИЧ, И.Ш. НЕВЛЮДОВ

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина

## АЛГОРИТМ РАБОТЫ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА РАСХОДОВАНИЯ РЕСУРСА РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

*Предложен алгоритм визуализации технического состояния и ресурсных характеристик радиоэлектронных средств (РЭС), основанный на геометрической интерпретации ситуации, допускающей аналогичное описание кинетики деградационных процессов и изменения параметров РЭС, что дало возможность создать математическое обеспечение систем, позволяющих на основе визуализации изменения технического ресурса прогнозировать отказы РЭС. Приведенный алгоритм позволяет наблюдать на экране монитора ситуацию, которая возникает каждый раз, когда после измерения параметров необходимо принимать решение о возможности дальнейшей эксплуатации РЭС. Изображения, которые наблюдаются, в достаточной мере характеризуют размер части поверхности разрыва (ПР) и ее расположение относительно границ допустимой области изменения параметров.*

**Ключевые слова:** радиоэлектронные средства, мониторинг, жизненный цикл, визуализация, технический ресурс, прогнозирование, геометрическая интерпретация.

### Введение

В настоящее время существенное внимание уделяется мониторингу процессов изменения состояния РЭС при ее эксплуатации. Одним из основных приложений такого мониторинга является прогнозирование отказов. Использование концепции визуализации процессов дает возможность с большей степенью наглядности наблюдать процесс изменения состояния РЭС. Здесь отображается признаковое пространство и области соответствующей возможным и реальным контролируемым значениям параметров системы, во время жизненного цикла (ЖЦ) происходит движение, изменяется конфигурация, размеры и очертания областей. Этим областям можно присвоить соответствующие названия – область имеющегося ресурса (ИР), область выработанного ресурса (ВР).

Аналогичное изображение можно получить при отображении реального физического процесса происходящего в реальной физической среде, при этом может идти речь о физическом объекте, в котором находятся части взаимно реагирующих веществ, объемы которых изменяются с течением времени, и эти изменения происходят в соответствии закономерностями протекания реальных реакций.

Используя данную концепцию была разработана модель процесса изменения технического ресурса на стадии эксплуатации РЭС, которая основана на термодинамическом описании физико-химического механизма явлений массопереноса и структурных

превращений, в материалах, формирующих свойства РЭС и, в результате, значения информативных параметров РЭС, что дало возможность приводить оценку кинетики деградационных процессов и динамики ресурсных характеристик РЭС. На основе предложенной модели процесса [1] был разработан алгоритм отображения области ВР с учетом изменения ее размеров и формы на интервале предсказания.

### Основная часть

Разработанный алгоритм выполняется следующим образом:

- в моменты времени, разделенные промежутками  $\delta t$ , производится измерение параметров;
- данные измерений используются для определения координат прямоугольной области, соответствующей элементарной области ВР (ЭОВР), по выше приведенным правилам выбора компонентов  $\delta x^i$ ;
- на экране монитора отображается прямоугольная область, при этом предварительно вычисляются ошибки и выбирается порядок реакций;
- уточняются границы ЭОВР, вычисляя ошибки предсказания на интервале наблюдений, и отображается канва (можно использовать цветовую палитру монитора), ширина которой соответствует интервалу ошибки предсказания при заданной гарантии.

Приведенный алгоритм дает возможность наблюдать на экране монитора ситуацию, возникающую каждый раз, когда после измерения параметров

необходимо принимать решение о возможности дальнейшей эксплуатации РЭС. Наблюдаемое изображение в достаточной мере характеризует размер части ВР относительно границ допустимой области изменения параметров. Канва вокруг ЭОВР (отображение размытости границ) дает возможность оценить гарантированную ошибку предсказания. Существующие программные средства позволяют достаточно эффективно реализовать приведенный алгоритм.

Разрабатываемый алгоритм учитывает все особенности прогнозирования с учетом всех составляющих факторов, сопутствующих рассматриваемым процессам.

Входными данными являются – время прогнозирования  $\delta t_p$ , максимальные и минимальные значения параметров (граничные значения параметров  $U_{\min}$  и  $U_{\max}$ ), гарантия предсказания  $P$ .

### Общее описание алгоритма

В заданный момент времени  $t_n$  производится измерение контролируемых параметров и определяется вектор  $Y(t_n) = \{y^1, y^2, \dots, y^m\}$ .

В дальнейшем целесообразно использовать параметры, нормируемые по выражению

$$x^i = \frac{y^i - y_{\min}^i}{y_{\max}^i - y_{\min}^i}. \quad (1)$$

Далее из этого вектора определяется вектор  $X(t_n) = \{x^i, x^j\}$ , где  $x^i, x^j$  являются такими двумя параметрами, приближение которых к заданным граничным значениям является наименьшим, т.е. определяется вектор, компоненты которого отвечают условиям

$$x^i = \min \{ \min_i [(x^i - x_{\min}^i), (x^i - x_{\max}^i)] \}, \quad (2)$$

далее при ( $j \neq i$ )

$$x^j = \min \{ \min_j [(x^j - x_{\min}^j), (x^j - x_{\max}^j)] \}. \quad (3)$$

При вводе  $x^i, x^j$  могут умножаться на масштабный коэффициент.

Для каждого  $n$ -го шага определяется приращение выбранных параметров.

$$\begin{aligned} \delta x^i(n) &= x^i(n) - x^i(n-1), \\ \delta x^j(n) &= x^j(n) - x^j(n-1) \end{aligned} \quad (4)$$

и коэффициент формы

$$g_{ij}(n) = \frac{\delta x^j(n)}{\delta x^i(n)}. \quad (5)$$

По формулам из табл. 1 определяются постоянная релаксации, используемая для прогнозирования размеров области ВР.

Далее по формулам табл. 2 определяются предсказанные по предыдущим результатам (здесь используется значение  $K(n-1)$ , полученное на предыдущем шаге измерения параметров) размеры области ВР для различных порядков реакций  $r$ .

Вычисляются ошибки предсказания, то есть отклонения  $\Delta V_{nr}$  размеров наблюдаемой области ВР  $|\delta x^i(n) \delta x^j(n)|$  от предсказанных.

Таблица 1

Постоянные релаксации для реакций различных порядков

Порядок реакции	Постоянная релаксации
0	$K = \frac{ \delta x^i \delta x^j }{\delta t}$
1	$K = \frac{\ln(W_0) - \ln(W_0 -  \delta x^i \delta x^j )}{\delta t}$
2	$K = \frac{\frac{1}{W_0 -  \delta x^i \delta x^j } - \frac{1}{W_0}}{\delta t}$

Таблица 2

Дифференциальные уравнения и их решения для реакций различных порядков

Порядок реакции	Дифференциальные уравнения реакций	Уравнение реакции после интегрирования
0	$\frac{dV}{dt} = K$	$V = Kt$
1	$\frac{dV}{dt} = K(W_0 - V)$	$V = W_0(1 - e^{-Kt})$
2	$\frac{dV}{dt} = K(W_0 - V)^2$	$V = W_0 + \frac{W_0}{1 + KtW_0}$

Для каждого  $r$  вычисляется математическое ожидание  $M_n(\Delta V)$  и дисперсия  $D_n(\Delta V)$  по формулам

$$M_n(\Delta V) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \Delta V_k, \quad (6)$$

$$D_n(\Delta V) = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (M_n(\Delta V) - \Delta V_k)^2. \quad (7)$$

Для каждого  $r$  определяется наибольшее значение ошибок  $\max_n \Delta V$  по формуле

$$\max_n \Delta V = M_n(\Delta V) + \frac{\sqrt{D_n(\Delta V)}}{\sqrt{n}}, \quad (8)$$

где  $D_n(\Delta V)$  – дисперсия ошибок на момент  $t_n$ .

Выбирается такой порядок реакций  $\gamma$ , для которого значение  $\max_n \Delta V$  имеет минимум.

По найденным ранее значениям  $W_0$  и  $K$  в точке измерения  $t_n$ , по табл. 2 для определенного порядка реакций, вычисляется  $V(\delta t_p)$ , определяя тем самым значение опорной траектории  $V_{0n}(\delta t_p) = V(\delta t_p)$  в точке предсказания  $t_p$ .

Вычисляется значение производной  $\frac{df(V)}{dV}$  при  $V=0$ .

По формуле

$$z(k+1/k) = \frac{df(V)}{dV} z(k/k-1) + K(k+1, k) \cdot [g(k) - z(k/k-1)] \quad (9)$$

с учётом

$$K(k+1, k) = \frac{df(V)}{dV} D(k/k-1) [D(k/k-1) + D_v]^{-1}, \quad (10)$$

вычисляется поправка  $Z(\delta t_p)$  к опорной траектории.

Вычисляются стороны прямоугольников области ВР, соответствующие моменту предсказания

$$\delta x_p^i = \sqrt{\frac{V_{0n}(\delta t_p) + Z(\delta t_p)}{g_{ij}}}, \quad (11)$$

$$\delta x_p^j = \delta x_p^i g_{ij}. \quad (12)$$

Вычисляется дисперсия поправки  $D(\delta t_p)$  по формуле

$$D(k+1/k) = \left( \frac{df(V)}{dV} \right)^2 D(k/k-1) + d_w - \left( \frac{df(V)}{dV} D(k/k-1) \right)^2 [D(k/k-1) + D_v]^{-1}. \quad (13)$$

По табулированному значению функции, обратной интегралу вероятности  $\Phi^{-1}(u)$  при заданной гарантии предсказания  $P$  и найденной дисперсии  $D(\delta t_p)$  находим

$$\Delta V(\delta t_p) = 2\Phi^{-1}(P/2) \sqrt{D(\delta t_p)}. \quad (14)$$

Разброс размеров  $\Delta V(\delta t_p)$  целесообразно изображать в виде двух полос шириной  $\Delta x^i$ ,  $\Delta x^j$ , расположенных на краю изображаемой прямоугольной области ВР в направлении предсказанных значений  $\delta x_p^i$ ,  $\delta x_p^j$ .

Середина полос должна совпадать с двумя соответствующими сторонами области ВР. Тогда размеры полос и соответствующий им объем ВР связаны соотношением

$$\Delta V(\delta t_p) = \Delta x^j (\delta x^i - \Delta x^i) + \Delta x^i (\delta x^j - \Delta x^j) + \Delta x^i \Delta x^j \quad (15)$$

при

$$\Delta x^j = \Delta x^i g_{ij}, \quad (16)$$

$$\Delta x^i = \delta x^i - \sqrt{(\delta x^i)^2 - \frac{\Delta V(\delta t_p)}{g_{ij}}}. \quad (17)$$

Используя  $i$  и  $j$  для верхней и нижней границ, оцениваем время отказа  $T_0$ , считая скорость изменения параметра, равной наблюдаемой на интервале  $\delta t_p$

$$T_0^i = \frac{(x^i(t_n) - x_{гр}^i) \cdot \delta t_p}{\delta x_p^i}, \quad (18)$$

и выбираем наименьшее.

Вычисляем временной интервал  $\Delta t$  неопределенности времени для выбранного  $i$  или  $j$ , считая скорость изменения параметров одинаковой и для времени прогноза и для интервала неопределенности

$$\Delta t = \frac{\Delta x^i \cdot \delta t_p}{\delta x_p^i}. \quad (19)$$

Выводим (кроме серии прямоугольников):

- если  $\delta t_p + \frac{\Delta t}{2} \leq T_0$  – «нет отказа»;
- если  $\delta t_p - \frac{\Delta t}{2} < T_0 < \delta t_p + \frac{\Delta t}{2}$  – «отказ  $T_0$ »;
- если  $\delta t_p - \frac{\Delta t}{2} \leq T_0$  – «внезапный отказ».

## Заключение

Таким образом, разработан алгоритм визуализации технического состояния и ресурсных характеристик РЭС, основанный на геометрической интерпретации ситуации, допускающей аналогию описания кинетики деградационных процессов и изменения параметров РЭС, что дало возможность создать математическое обеспечение систем, позволяющих на основе визуализации изменения технического ресурса прогнозировать отказы РЭС.

## Литература

1. Андрусевич, А.А. Термодинамическая модель жизненного цикла электронной аппаратуры [Текст] / А.А. Андрусевич, И.Ш. Невлюдов,

С.В. Сотник // Вестник Академии инженерных наук Украины. – 2007. – № 3 (33). – С. 132 – 135.

2. Методы термодинамики при моделировании процесса расходования ресурса электронной аппаратуры [Текст] / А.А. Андрусевич, И.Ш. Невлюдов, М.А. Омаров, Е.П. Второв // Технология приборостроения. – 2007. – Вып. 2. – С. 10 – 12.

3. Андрусевич, А.А. Термодинамическая модель процесса расходования ресурса электронной аппаратуры [Текст] / А.А. Андрусевич, И.Ш. Невлюдов, С.В. Сотник // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – № 4/11 (40). – С. 24 – 26.

Поступила в редакцию 28.02.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., декан ф-та автоматизации и компьютеризированных технологий А.И. Филипенко, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

## АЛГОРИТМ РОБОТИ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ВИТРАТ РЕСУРСУ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ

*А.О. Андрусевич, І.Ш. Невлюдов*

Запропоновано алгоритм візуалізації технічного стану і ресурсних характеристик радіоелектронних засобів (РЕЗ), заснований на геометричній інтерпретації ситуації, що допускає аналогію опису кінетики деградаційних процесів і зміни параметрів РЕЗ, що дало можливість створити математичне забезпечення систем, яке дозволяє на основі візуалізації зміни технічного ресурсу прогнозувати відмови РЕЗ. Наведений алгоритм дозволяє спостерігати на екрані монітора ситуацію, що виникає щораз, коли після виміру параметрів необхідно ухвалювати рішення щодо можливості подальшої експлуатації РЕЗ. Зображення, які спостерігаються, у достатній мірі характеризує розмір частини поверхні розриву (ПР) і її розташування щодо границь припустимої області зміни параметрів.

**Ключові слова:** радіоелектронні засоби, моніторинг, життєвий цикл, візуалізація, технічний ресурс, прогнозування, геометрична інтерпретація.

## ALGORITHM OF WORK OF SYSTEM OF MONITORING OF THE EXPENDITURE OF THE RESOURCE OF RADIO-ELECTRONIC MEANS

*A.A. Andrusевич, I.Sh. Nevludov*

The algorithm of visualization of a technical condition and resource characteristics of radio-electronic means, based on geometrical interpretation of the situation supposing analogy of the description kinetics degradation of processes and change of parameters of radio-electronic means that has given the chance to create software of the systems allowing on the basis of visualization of change of a technical resource to predict refusals of radio-electronic means is offered. The resulted algorithm allows to observe a situation which arises each time when after measurement of parameters it is necessary to make the decision on possibility of further operation of radio-electronic means on the screen of the monitor. Images which it is observed, the size of a part of a surface of rupture and its arrangement concerning borders of admissible area of change of parameters adequately characterizes.

**Keywords:** radio-electronic means, monitoring, life cycle, visualization, a technical resource, forecasting, geometrical interpretation.

**Андрусевич Анатолій Александрович** – канд. техн. наук, доц. каф. Технологии и автоматизации производства радиоэлектронных средств и электронно-вычислительных устройств, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, Украина.

**Невлюдов Игорь Шакирович** – д-р техн. наук, проф., зав. каф. Технологии и автоматизации производства радиоэлектронных средств и электронно-вычислительных устройств, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, Украина.