УДК 62-192.003

К. Б. КРУКОВСКИЙ-СИНЕВИЧ, д-р техн. наук,
Р. М. ТЕРЕЩУК, канд. техн. наук, Н. В. ГЛУШЕНКО, студ.

О ВЫБОРЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ С УЧЕТОМ ИЗНОСОВЫХ ОТКАЗОВ

Как известно [2], наиболее полной характеристикой надежности восстанавливаемой радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) является функция готовности $K_г(t)$, представляющая собой вероятность того, что в заданный момент времени РЭА исправна. Рассмотрим задачу о выборе интенсивности восстановления для получения требуемой функции готовности. Для этого составим дифференциальное уравнение для $K_г(t)$, предполагая известными вероятность безотказной работы во временно́м интервале $[t_1, t_2]$

$$P_0(t_1, t_2) = \exp\left[-\int_{t_1}^{t_2} \lambda(\tau)\, d\tau\right],$$

где $\lambda(\,)$ — интенсивность отказов с учетом воздействия процесса восстановления, и вероятность восстановления в течение некоторого промежутка времени $[t_3, t_4]$

$$P_в(t_3, t_4) = 1 - \exp\left[-\int_{t_3}^{t_4} \mu(\tau)\, d\tau\right],$$

где $\mu(t)$ — интенсивность восстановления.

Полагая, что вероятность более чем одного отказа бесконечно малая величина более высокого порядка, чем вероятность одного отказа, для $\Delta t \to 0$ запишем

$$K_г(t + \Delta t) = K_г(t)\, P_0(t, t + \Delta t) + [1 - K_г(t)] \times P_в(t, t + \Delta t). \quad (1)$$

В силу малости Δt

$$K_г(t + \Delta t) \approx K_г(t) + K'_г(t)\,\Delta t; \qquad P_0(t, t + \Delta t) \approx P_0(t, t) + P'_0(t, t)\,\Delta t;$$

$$P_в(t, t + \Delta t) \approx P_в(t, t) + P'_в(t, t)\,\Delta t.$$

Поскольку $P_0(t, t) = 1$, $P_в(t, t) = 0$, $P'_0(t, t) = -\lambda(t)$, $P'_в(t, t) = \mu(t)$, выражение (1) принимает вид

$$K'_г(t) = \mu(t) - \lambda_\Sigma(t)\, K_г(t), \quad (2)$$

где $\lambda_\Sigma(t) = \lambda(t) + \mu(t)$.

При начальных условиях $K_г(0) = K_{г0}$ решением (2) является функция [1]

$$K_г(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda_\Sigma(\tau)\, d\tau\right]\left\{K_{г0} + \int_0^t \mu(\theta) \exp\left[\int_0^\theta \lambda_\Sigma(\tau)\, d\tau\right] d\theta\right\}. \quad (3)$$

В частности, при $\lambda(t) = \lambda_0 = \text{const}$ и $\mu(t) = \mu_0 = \text{const}$ из равенства (3) следует

$$K_\text{г}(t) = (K_{\text{г}0} - \mu_0/\lambda_{\Sigma 0}) \exp(-\lambda_{\Sigma 0} t) + \mu_0/\lambda_{\Sigma 0},$$

где $\lambda_{\Sigma 0} = \lambda_0 + \mu_0$. Отсюда коэффициент готовности $K_\text{г} = \lim\limits_{t \to \infty} K_\text{г}(t) = 1/(1 + C_0)$, где $C_0 = \lambda_0/\mu_0$.

В общем случае при непостоянных $\lambda(t)$ и $\mu(t)$ интервалы в выражении (3), как правило, не выражаются в квадратурах. Это существенно затрудняет выбор необходимой $\mu(t)$ для получения требуемой $K_\text{г}(t)$. Покажем, что и для непостоянных $\lambda(t)$ и $\mu(t)$ возможен такой выбор $\mu(t)$, при котором удается существенно упростить вычисление интегралов в (3) и получить требуемое значение коэффициента готовности.

Если принять $\lambda(t)/\mu(t) = C_0$, уравнение (3) можно представить в виде

$$K_\text{г}(t) = (K_{\text{г}0} + I/C_1) \exp\left[-C_1 \int\limits_0^t \mu(\tau)\, d\tau\right],$$

где $C_1 = 1 + C_0$;

$$I = \int\limits_0^t C_1 \mu(\theta) \exp\left[C_1 \int\limits_0^\theta \mu(\tau)\, d\tau\right] d\theta = \exp\left[C_1 \int\limits_0^t \mu(\tau)\, d\tau\right].$$

Следовательно,

$$K_\text{г}(t) = \left(K_{\text{г}0} - \frac{1}{1 - C_0}\right) \exp\left[-(C_0 + 1) \int\limits_0^t \mu(\tau)\, d\tau\right] + \frac{1}{1 + C_0}. \quad (4)$$

Как следует из выражения (4), $K_\text{г} = 1/(1 + C_0)$. Таким образом, выбрав соответствующее значение $C_0 = (1 - K_\text{г})/K_\text{г}$, можно получить требуемое значение коэффициента готовности. При этом искомое значение

$$\mu(t) = \lambda(t)/C_0 = K_\text{г} \lambda(t)/(1 - K_\text{г}). \quad (5)$$

Использование равенства (5) связано с определенными трудностями, обусловленными необходимостью знания функции $\lambda(t)$. Характер этой функции зависит, в частности, от структуры РЭА и закономерностей ввода ее в эксплуатацию. Однако очевидно, что $\lambda(t) < \lambda_1(t)$, где $\lambda_1(t)$ — интенсивность отказов той же РЭА при отсутствии восстановления. Поэтому оценкой сверху для $\lambda(t)$ является $\lambda_1(t)$. Отсюда следует, что при выборе $\mu(t) = \lambda_1(t)/C_0$ истинное значение $K_\text{г}$ всегда не менее требуемого.

1. *Смирнов В. И.* Курс высшей математики. М.: Наука, 1967. Т. 2. 655 с. 2. *Янишин А. А.* Теоретические основы конструирования, технологии и надежности ЭВА. М.: Радио и связь, 1983. 312 с.

Поступила в редколлегию 24.08.84