ОБСЛУГОВУВАННЯ РЕЗЕРВНИХ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ

Скопа О.О.
Одеська національна академія зв'язку ім. О.С.Попова,
кафедра технічної електродинаміки та систем радіозв'язку
E-mail: arnika@ukr.net

Abstract
Skopa O. The supervision of a standby system of communication. *The problems of account of an optimum period of the supervision behind a condition of a standby system of communication are considered. The estimation of trouble-free operation of a system is given at the moment of execution of a delivered task.*

До резервної телекомунікаційної системи (РеТС), як і до всіх пристроїв, що підвищують надійність функціонування засобів зв'язку, ставиться вимога бути готовою до застосування у наперед заданий або у випадковий момент часу $\hat{t}$ (тут і далі $\wedge$ - символ випадковості). Крім того, до РеТС пред'являється вимога безвідмовної роботи протягом часу τ виконання задачі. Позначимо через $P_{\hat{i}}(\hat{t},\tau)$ ймовірність того, що РеТС у випадковий момент часу $\hat{t}$ буде дієздатною і буде безвідмовно працювати час $\hat{t}+\tau$. Будемо вважати, що експлуатація РеТС, яка попереджує моменту застосування її по призначенню, триває досить довго і характеризується критерієм

$$P_{\hat{i}}(\tau)=\lim_{t\to\infty}P_{\hat{i}}(\hat{t},\tau),$$

де t – час до застосування РеТС по призначенню.

Припустимо, що система телекомунікацій має N–1-кратний резерв. Тоді ймовірність того, що в момент $\hat{t}$ справна хоча б одна РеТС з комплексу та за час τ система, обрана для виконання задачі, не відмовить, позначимо через $P_{\hat{i}}(t,\tau,N)$. При $t\to\infty$ маємо

$$P_{\hat{i}}(\tau,N)=\lim_{t\to\infty}P_{\hat{i}}(t,\tau,N). \tag{1}$$

Вважаємо, що на етапі попередньої експлуатації резервної групи, обслуговування організується так, що з появою відмовлень РеТС під час включення у визначені або заздалегідь заплановані моменти часу, робиться поглиблена перевірка її технічного стану [1]. По припущенню попередня експлуатація РеТС триває досить довго, тому скористаємося критерієм (1). Будемо вважати, що серед N РеТС, дієздатних до моменту $\hat{t}$, для виконання задачі вибирається та система, у якої час $\hat{t}_{min}$ від моменту останнього поглибленого обслуговування до моменту $\hat{t}$ мінімальний.

Нехай $\overline{V}_{\hat{i}}(\hat{t})$ – середня кількість обсягу відновлень РеТС після поглиблених обслуговувань в інтервалі $[0,\hat{t}]$. Тоді ймовірність того, що в момент $\hat{t}$ справна і-та РеТС $(i=1,\ldots,N)$ і від моменту останнього поглибленого обслуговування минув час, менший Δt, така:

$$P_{\hat{t}i}(t,\Delta t)=\begin{cases}\int\limits_{t-\Delta t}^{t}\overline{G}_{\hat{t}i}(t-\tau)\overline{F}_{\hat{t}}(t-\tau)d\overline{V}_{\hat{t}i}(\tau), & t\ge\Delta t,\\ \overline{G}_{\hat{t}i}(t)\overline{F}_{\hat{t}}(t)+\int\limits_{0}^{t}\overline{G}_{\hat{t}i}(t-\tau)\overline{F}_{\hat{t}}(t-\tau)d\overline{V}_{\hat{t}i}(\tau), & t<\Delta t,\end{cases} \tag{2}$$

якщо припустити, що для і-ої РеТС поглиблені обслуговування плануються через випадковий час $\hat{T}_{\hat{t}i}$, розподілений за законом $G_{\hat{t}i}(\tau)$. У виразі (2) – $\overline{G}_{\hat{t}i}(\tau)=1-G_{\hat{t}i}(\tau)$; $\overline{F}_{\hat{t}}(t)$ – ймовірність того, що РеТС пропрацює час, більший t. Як бачимо, в (2) та далі, рискою зверху позначається зворотний стан того чи іншого параметра. Нехай $(\nu_1, \nu_2, \dots \nu_N, i = 1,\dots, N) \in \hat{T}_{\hat{i}i}$, де v_i – моменти поглибленого обслуговування. Враховуючи це, приймемо:

$$\nu = \min_i(\nu_1, \nu_2, \dots \nu_N),\ i = 1,\dots, N .$$

Тоді $P_{\hat{i}}(\nu < \Delta t) = 1 - \prod_{i=1}^{N}\left[1 - P_{\hat{i}i}(t, \Delta t)\right]$. (3)

Позначимо далі $\Theta(\tau, \Delta t) = \dfrac{\overline{F}_{\hat{i}}(\Delta t + \tau)}{\overline{F}_{\hat{i}}(\Delta t)}$. (4)

Тоді $P_{\hat{i}}(t, \tau, N) = 1 - \prod_{i=1}^{N}\left[1 - P_{\hat{i}i}(t, \Delta t)\right] \cdot \int_0^{\infty}\Theta(z, \Delta t)d\Delta t$.

При $t \to \infty$ маємо

$$P_{\hat{i}}(\tau, N) = 1 - \prod_{i=1}^{N}\left[1 - \lim_{t\to\infty} P_{\hat{i}i}(t, \Delta t)\right] \cdot \int_0^{\infty}\Theta(\tau, \Delta t)d\Delta t . \tag{5}$$

Зафіксувавши v, отримаємо:

$$\lim_{t\to\infty} P_{\hat{i}i}(t, \xi) = \frac{\int_0^{\Delta t}\overline{G}_{\hat{i}i}(\tau)\overline{F}_{\hat{i}}(\tau)d\tau}{\Delta T_{\hat{i}}\left[T_{0i}\right]}, \tag{6}$$

де $\Delta T_{\hat{i}}(T_{0i})$ – середня тривалість інтервалу часу між сусідніми поглибленими обслуговуваннями i -ї РеТС. Представляючи (6) у (5) і здійснивши перетворення, одержимо:

$$P_{\hat{i}}(\tau, N) = \frac{\int_0^{\infty}\dots N\dots\int_0^{\infty}\left\{\sum_{k=1}^{N}\int_0^{\tau_k}\Theta(\tau, \Delta t)\overline{F}_{\hat{i}}(\Delta t)\prod_{i\neq k}\left[\beta_{\hat{i}}(\tau_i) - \alpha_{\hat{i}}(\tau_i, \Delta t)\right]d\Delta t\right\}dG_{\hat{i}1}(\tau_1)\dots dG_{\hat{i}N}(\tau_N)}{\int_0^{\infty}\dots N\dots\int_0^{\infty}\beta_{\hat{i}}(\tau_1)\beta_{\hat{i}}(\tau_2)\dots\beta_{\hat{i}}(\tau_N)dG_{\hat{i}1}(\tau_1)dG_{\hat{i}2}(\tau_2)\dots dG_{\hat{i}N}(\tau_N)}, \tag{7}$$

де

$$\alpha_{\hat{i}}(\tau_i, \Delta t) = \begin{cases}\int_0^{\tau}\overline{F}_{\hat{i}}(\tau)d\tau, & \tau \leq \Delta t,\\ \int_0^{\Delta t}\overline{F}_{\hat{i}}(\tau)d\tau, & \tau > \Delta t;\end{cases}$$

$$\beta_{\hat{i}}(\tau) = \tau\int_0^{\tau}\int_0^{y}F_{\hat{i}}(u - \upsilon)d\Im(\upsilon)du + \left(T_{\hat{i}1} - T_{\hat{i}2}\right)\int_0^{\tau}\overline{F}_{\hat{i}}(\tau - u)d\Im(u) + T_{\hat{i}3} + \left(T_{\hat{i}1} - T_{\hat{i}3}\right)F_{\hat{i}}(\tau)$$

Тут $\Im(\tau)$ – функція розподілу часу, необхідного для прояву відмовлення РеТС при функціонуванні без перевірок; $T_{\hat{i}1}$ – середня тривалість обслуговування РеТС після відмовлення; $T_{\hat{i}2}$ – середня тривалість обслуговування РеТС у випадку відмовлення при виконанні поглибленого обслуговування; $T_{\hat{i}3}$ – середня тривалість планового поглибленого обслуговування, проведеного в працездатній РеТС.

В [2] показано, що екстремуми дрібно-лінійного функціоналу (7) досягаються на вироджених розподілах

$$G_{\hat{i}i}(t) = \begin{cases}0, \text{ при } t \leq \hat{\tau}_i;\\ 0, \text{ при } t > \hat{\tau}_i,\ i = 1, 2,\dots, N.\end{cases}$$

Таким чином, терміни проведення планових поглиблених обслуговувань $\hat{\tau}_i(i,\ldots,N)$ визначаються в результаті дослідження на екстремум функції

$$P_{\hat{t}}(\tau,N)=\frac{\sum\limits_{k=1}^{N}\int\limits_{0}^{\hat{\tau}_k}\Theta(\tau,\Delta t)\overline{F}_{\hat{t}}(\Delta t)\left(\prod\limits_{i\neq k}\left\{\beta_i(\hat{\tau}_i)-\alpha_i(\hat{\tau}_i,\Delta t)\right\}\right)dy}{\prod\limits_{i=1}^{N}\beta_i(\hat{\tau}_i)}.$$

Усі РеТС статистично ідентичні, тому $\hat{\tau}_i=\hat{\tau}\quad(i=1,\ldots,N)$ та

$$P_{\hat{t}}(\tau,N)=\frac{N\int\limits_0^{\hat{\tau}}\Theta(\tau,\Delta t)\overline{F}_{\hat{t}}(\Delta t)\left\{\hat{\tau}-\int\limits_0^{\hat{\tau}}\int\limits_0^{\tau}\overline{F}_{\hat{t}}(\tau-\upsilon)d\Im(\upsilon)d\tau+\right.}{\left\{\hat{\tau}-\int\limits_0^{\hat{\tau}}\int\limits_0^{\tau}\overline{F}_{\hat{t}}(\tau-\upsilon)d\tau+(T_{i1}-T_{i2})\int\limits_0^{\hat{\tau}}\overline{F}_{\hat{t}}(\hat{\tau}-\upsilon)d\Im(\upsilon)+T_{i3}+(T_{i2}-T_{i3})F_{\hat{t}}(\hat{\tau})\right\}^N}\rightarrow$$

$$\rightarrow\frac{\left.+(T_{i1}-T_{i2})\int\limits_0^{\hat{\tau}}\overline{F}_{\hat{t}}(\hat{\tau}-\upsilon)d\Im(\upsilon)+T_{i3}+(T_{i2}-T_{i3})F_{\hat{t}}(\hat{\tau})-\int\limits_0^{\Delta t}F_{\hat{t}}(\tau)d\tau\right\}^{N-1}dy}{\left\{\hat{\tau}-\int\limits_0^{\hat{\tau}}\int\limits_0^{\tau}\overline{F}_{\hat{t}}(\tau-\upsilon)d\tau+(T_{i1}-T_{i2})\int\limits_0^{\hat{\tau}}\overline{F}_{\hat{t}}(\hat{\tau}-\upsilon)d\Im(\upsilon)+T_{i3}+(T_{i2}-T_{i3})F_{\hat{t}}(\hat{\tau})\right\}^N}\qquad(8)$$

Приклад. Нехай є комплекс з N РеСТ, у кожної з яких відмовлення, що з'явилося, відображається миттєво, тобто для такої РеТС

$$\Im(\tau)=\begin{cases}0, \text{ при } \tau\le 0,\\ 1, \text{ при } \tau>1.\end{cases}\qquad(9)$$

Нехай $\overline{F}_{\hat{t}}(t)=e^{-0,00025t^2}$. Відомо, що $T_{i1}=5$ г, $T_{i3}=2$ г, $\tau=10$ г і для виконання задачі потрібна одна РеТС з N наявних. Визначити значення $\hat{\tau}_0$ для різних N.

Рішення. По формулі (8) маємо

$$P_{\hat{t}}(\tau,N)=\frac{N\int\limits_0^{\hat{\tau}}\Theta(\tau,\Delta t)\overline{F}_{\hat{t}}(\Delta t)\left\{\int\limits_{\xi}^{\hat{\tau}}F_{\hat{t}}(\tau)d\tau+T_{i3}+(T_{i1}-T_{i3})F_{\hat{t}}(\hat{\tau})\right\}^{N-1}d\Delta t}{\left[\int\limits_0^{\hat{\tau}}\overline{F}_{\hat{t}}(\tau)d\tau+T_{i3}+(T_{i1}-T_{i3})F_{\hat{t}}(\hat{\tau})\right]^N}.\qquad(10)$$

Підставляючи в (10) вихідні дані прикладу, дістанемо

$$P_{\hat{t}}(10,N)=\frac{N\int\limits_0^{\hat{\tau}}e^{-0,00025\cdot(t+10)^2}\left\{1-\frac{\int\limits_0^{\hat{\tau}}e^{-0,00025\tau^2}d\tau}{\int\limits_0^{\hat{\tau}}e^{-0,00025\tau^2}d\tau+2+3\cdot\left(1-e^{-0,00025\hat{\tau}^2}\right)}\right\}^{N-1}dt}{\left[\int\limits_0^{\hat{\tau}}e^{-0,00025\tau^2}d\tau+2+3\cdot\left(1-e^{-0,00025\hat{\tau}^2}\right)\right]^N\int\limits_0^{\hat{\tau}}e^{-0,00025\tau^2}d\tau+2+3\cdot\left(1-e^{-0,00025\hat{\tau}^2}\right)}.\qquad(11)$$

Таким чином отримано формулу (8) для розрахунку оптимальних періодів контролю РеТС $\hat{\tau}_0$ для різних N.

Література

1. ГОСТ 13377-67. Надежность в технике. Термины. М.: Изд-во «Стандарты», 1968.

2. Дедков В.К., Северцев Н.А. Основные вопросы эксплуатации сложных систем. М.: Высш. школа, 1976. – 406 с.