

**ВЛИЯНИЕ НЕРАВНОНАДЁЖНОСТИ КАНАЛОВ НА НАДЁЖНОСТЬ СИСТЕМЫ ПРИ РЕЗЕРВИРОВАНИИ ЗАМЕЩЕНИЕМ**

д.т.н. проф. В.С. Харченко, В.И. Гридин

Оценивается влияние неравнонадёжных каналов на надёжность систем, в которых используются резервные каналы, работающие в «холодном» режиме.

В условиях ограничений на массу, габариты и энергию задача обеспечения высокой надежности бортовых систем может быть решена с использованием метода «холодного» резервирования [1] и различных гибридных резервированных структур [4]. При создании таких систем возможен естественный разброс показателей надёжности резервных каналов. Подобная ситуация имеет место также в многоверсионных системах. В известных работах [2] вопрос учёта неравнонадёжности каналов в структурах с «холодным» резервом не рассматривался. Цель данной статьи - оценка надёжности структур резервированных систем с «холодным» резервированием и неравнонадёжными каналами (СНК) в предположении, что интенсивности отказов каналов  $\lambda$  имеют симметричный разброс и принимают значения  $\lambda, \lambda + \Delta\lambda, \lambda - \Delta\lambda$ , где  $0 < \Delta\lambda < \lambda$ .

В работе исследуются две типовых структуры:  $S_A$ , в которой имеется один основной канал (1) и один резервный канал (2), находящийся в «холодном» режиме;  $S_B$ , в которой используются два параллельно работающих (дублированных) канала (1, 2) и один «холодный» резервный канал (3). Средства контроля и коммутации считаются идеальными.

Надёжность структуры  $S_A$ . На основании формулы полной вероятности, вероятность безотказной работы резервированной системы в течение времени  $t$  вычисляется следующим образом [1]:

$$P_{\text{сис}}(t) = P_1(t) + P_2(t, \tau). \quad (1)$$

Окончательное выражение для вероятности безотказной работы резервированной системы :

$$P(t) = P_1(t) + \int_0^t P_2(t, \tau) f(\tau) d\tau. \quad (2)$$

При экспоненциальном законе распределения надежности и равнонадежных каналах структуры  $S_{A_0}$  ( $\lambda_1 = \lambda_2$ ,  $P_1(t) = P_2(t) = e^{-\lambda t}$ ) имеем:

$$P_{S_{A_0}}(t) = e^{-\lambda t} + \int_0^1 e^{-\lambda(t-\tau)} \lambda e^{-\lambda t} d\tau (1 + \lambda t) = P(t)(1 + \lambda t). \quad (3)$$

Тогда для структуры  $S_{A_1}$  с симметричными неравнонадежными каналами, когда менее надежная система замещается более надежной ( $\lambda_1 = \lambda + \Delta\lambda$ ,  $\lambda_2 = \lambda - \Delta\lambda$ ), с учётом того, что  $\Delta P(t) = e^{-\Delta\lambda t}$ , справедливо:

$$P_{S_{A_1}}(t) = \left( \Delta P(t) + \frac{1}{2} \left( \frac{\lambda}{\Delta\lambda} + 1 \right) \left( \frac{1}{\Delta P(t)} - \Delta P(t) \right) \right). \quad (4)$$

Для структуры  $S_{A_2}$  с симметричными неравнонадежными каналами, когда более надежная система замещается менее надежной ( $\lambda_1 = \lambda - \Delta\lambda$ ,  $\lambda_2 = \lambda + \Delta\lambda$ ) имеем:

$$P(t) = \left( \frac{1}{\Delta P(t)} + \frac{1}{2} \left( \frac{\lambda}{\Delta\lambda} - 1 \right) \left( \frac{1}{\Delta P(t)} - \Delta P(t) \right) \right). \quad (5)$$

Надежность структуры  $S_B$ . Воспользуемся (1):

$$P_{\text{сис}}(t) = P_{1,2}(t) + P_3(t, \tau). \quad (6)$$

Для симметричных неравнонадежных каналов возможны следующие три случая:

1. Структура  $S_{B_1}$ :  $\lambda_1 = \lambda - \Delta\lambda$ ;  $\lambda_2 = \lambda + \Delta\lambda$ ;  $\lambda_3 = \lambda$ . Тогда

$$P_{S_{B_0}}(t) = P_{S_{B_1}}(t) = e^{-2\lambda t} + 2e^{-2\lambda t} (1 - e^{-\lambda t}) = P(t)(2 - P(t)) \quad (7)$$

2. Структура  $S_{B_2}$ :  $\lambda_1 = \lambda$ ;  $\lambda_2 = \lambda + \Delta\lambda$ ;  $\lambda_3 = \lambda - \Delta\lambda$ . Тогда

$$P_{S_{B_2}}(t) = P^2(t) \Delta P(t) + \frac{(2\lambda + \Delta\lambda) P(t)}{(\lambda + 2\Delta\lambda) \Delta P(t)} (1 - P(t) \Delta P^2(t)). \quad (8)$$

3. Структура  $S_{B_3}$ :  $\lambda_1 = \lambda$ ;  $\lambda_2 = \lambda - \Delta\lambda$ ;  $\lambda_3 = \lambda + \Delta\lambda$ .

$$P_{S_{B_3}}(t) = \frac{P^2(t)}{\Delta P(t)} + \frac{2\lambda - \Delta\lambda}{\lambda - 2\Delta\lambda} P(t) \Delta P(t) \left( 1 - \frac{P(t)}{\Delta P^2(t)} \right). \quad (9)$$

Сравнительный анализ исследуемых структур. Результаты исследований структур приведены на рис.1, где показаны зависимости  $P_{\text{сис}}$  (Рис.1.а)

и  $dQ = Q_{„C„}^{ТНЖ} / Q_{„C„}^{НТ}$  (Рис.1,б) от  $\delta\lambda = \Delta\lambda/\lambda$  при  $t = 10000\text{ч}$ ,  $\lambda = 10^{-5}1/\text{ч}$ .

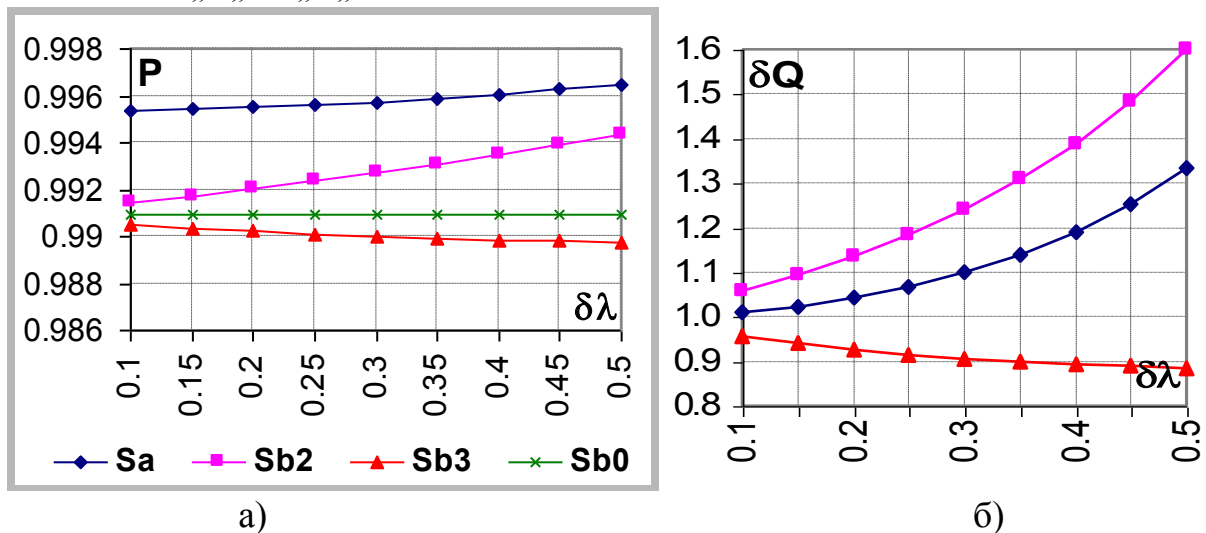


Рисунок 1 – Зависимость вероятности безотказной работы (а) и выигрыша надежности (б) от относительной неравнонадежности каналов.

Анализ полученных результатов позволяет установить, что:

- наличие неравнонадёжных каналов в структурах  $S_A$ ,  $S_B$  ведёт (при их симметричности) к увеличению надёжности;
- естественный или искусственно вводимый разброс показателей надёжности каналов даёт приращение надёжности, пропорциональное величинам разбросов интенсивностей отказов и времени функционирования;
- неравнонадёжность каналов (1,2) в структуре  $S_B$  не влияет на надёжность системы и оценивается одним выражением (7);
- структура  $S_{B3}$  уступает по надёжности исходной структуре  $S_{B0}$  и структуре  $S_{B1}$ ,  $S_{B2}$ .

Следовательно, при «холодном» резервировании выигрыш в надёжности наблюдается для случаев разброса интенсивности отказов, когда более надёжные каналы находятся в «холодном» резерве.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Половко А.М. Основы теории надёжности. - М.: Наука, 1964. – 448 с.
2. Харченко В.С. Оценка надёжности резервированных систем с симметричными неравнонадёжными каналами // Надёжность и контроль качества. 1991. № 3. С. 29 - 33.
3. Сидоренко Н.Ф. Дублированные и мажоритарные структуры бортовых средств обработки информации // Обработка информации. - Харьков: НАНУ, ПАНИ, ХВУ, 1997. - С.122 - 126.