

# Расчет показателей надежности радиоэлектронных комплексов со вспомогательными элементами

С.Н. Полесский, В.В. Жаднов

Радиоэлектронные и телекоммуникационные устройства и системы  
Московский государственный институт электроники и математики  
(технический университет)  
(e-mail: [serg@asonika-k.ru](mailto:serg@asonika-k.ru), 916-88-80)

В практике эксплуатации радиоэлектронных комплексов (РЭК) нередки случаи, когда их реальные условия эксплуатации более жесткие, чем оговоренные в ТУ. В таких случаях в РЭК (систему) вводятся вспомогательные (сервисные) устройства, приводящие реальные уровни внешних воздействующих факторов (ВВФ) к уровням, обеспечивающим нормальное функционирование изделия.

Очевидно, что чем уже допустимые диапазоны воздействий для составных частей (СЧ) основной системы (элемента), тем жестче требования к надежности вспомогательных устройств (элементов), так как отказ вспомогательного элемента (ВЭ) в некоторый момент времени  $\tau$  приведет к немедленному отказу основного (РЭК).

Для таких РЭК схема расчета надежности (СРН) может быть представлена в виде «последовательного соединение» двух элементов (рис. 1).

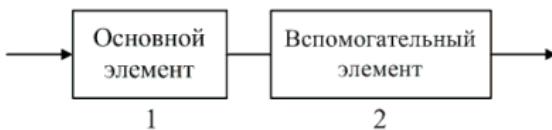


Рис. 1. СРН системы: 1 - основной элемент, 2 - вспомогательный элемент

Чаще встречаются случаи, когда отказ вспомогательного элемента приводит к изменению (обычно к увеличению) интенсивностей отказов СЧ основного элемента (ОЭ). Тогда рассматриваемая система будет относиться уже к системам с «последействием».

Очевидно, что если и в этом случае вспомогательный элемент включить последовательно с основным элементом, то можно получить лишь нижнюю оценку показателей надежности системы (вероятности безотказной работы, средней наработки на отказ и др.). В инженерной практике расчетов надежности обычно так

и поступают, т.к. руководствуются справочниками по расчету надежности невосстанавливаемой и восстанавливаемой аппаратуры (см., например [1]).

Однако, одной только нижней оценки не всегда достаточно, поэтому была поставлена задача определения показателей надежности системы с ВЭ в условиях, когда отказ ВЭ приводит не к отказу ОЭ, а лишь к изменению интенсивности отказов его СЧ.

Рассмотрим решение задачи для общего случая при экспоненциальном законе распределение наработок до отказа СЧ, входящих в ОЭ и ВЭ.

Рассмотрим невосстанавливаемую систему, состоящую из двух элементов: ОЭ и ВЭ (рис. 1.). Каждый из этих элементов в общем случае может быть резервированным.

Для этой системы составим перечень несовместных, успешных гипотез, сопутствующих успешному выполнению системой заданных функций на интервале времени  $[0, t]$ , в предположении, что в момент времени  $t = 0$  оба элемента системы находятся в работоспособном состоянии. Перечень этот невелик и содержит всего две гипотезы:

1. Исправны оба элемента.

Вероятность  $P_1(t)$  этой гипотезы равна:

$$P_1(t) = P_{OЭ}(t) \cdot P_{BЭ}(t),$$

где:  $P_{OЭ}(t)$  – вероятность безотказной работы (ВБР) основного элемента за время  $t$ , при условии, что вспомогательный элемент исправен в течение времени  $t$  (т.е. значения параметров ОЭ соответствуют тем, которые должны иметь место при нормальной работе ВЭ);  $P_{BЭ}(t)$  – ВБР вспомогательного элемента за время  $t$ .

2. В произвольный момент времени  $\tau$  отказывает ВЭ, а ОЭ, будучи, работоспособным до момента  $\tau$ , проработал безотказно еще время  $(t - \tau)$ , но с измененными параметрами (новыми значениями интенсивностей отказов СЧ).

Вероятность этой гипотезы определяется усреднением по  $\tau$  условной ВБР  $P_{OЭ}(t, \tau)$  по формуле:

$$P_2(t) = \int_0^t P_{O\mathcal{E}}(t, t, I, K_B) d(Q_{B\mathcal{E}}(t)),$$

где:  $d(Q_{B\mathcal{E}}(t)) = -d(P_{B\mathcal{E}}(t)) = -P_{B\mathcal{E}}(t)dt$  - это вероятность того, что ВЭ проработает исправно время  $t$  и откажет на малом промежутке времени  $dt$ , примыкающем к  $t$  справа ( $W_{B\mathcal{E}}(t)$  плотность распределения времени безотказной работы ВЭ, умноженная на  $dt$ );  $P_{O\mathcal{E}}(t, t, I, K_B)$  – вероятность того, что ОЭ, проработав безотказно время  $t$  при исходных параметрах, отвечающих работоспособному состоянию ВЭ, проработает еще и время  $(t - \tau)$ , но уже с новыми параметрами.

При экспоненциальных моделях отказов составных частей ОЭ на интервалах времени  $[0, \tau]$  и  $[\tau, t]$ , с учетом изменения параметров СЧ на интервале  $[\tau, t]$ , получим следующее выражение для ВБР:

$$P(t) = P_1(t) + P_2(t) = P_{O\mathcal{E}}(t) P_{B\mathcal{E}}(t) + \int_0^t P_{O\mathcal{E}}(t, t, I, K_B) d(Q_{B\mathcal{E}}(t)) \quad (1)$$

Среднее время безотказной работы этой системы может быть получено на основе известного соотношения:

$$T_{cp} = \int_0^t P(t) dt$$

Отметим, что последствие отказа ВЭ может быть как полным (общим), когда он влияет на все составные части ОЭ (т.е. как рабочие, так и резервные), либо неполным (частичным), когда последствие отказа ВЭ влияет лишь на некоторую часть составных частей ОЭ.

Для оценки уровня влияния отказа ВЭ на параметр СЧ введем коэффициент влияния  $K_B$ :

$$K_B = \frac{\text{Уровень 2 параметра (после момента } t)}{\text{Уровень 1 параметра (до момента } t)} \quad (2)$$

Например, в случае экспоненциального распределения, параметром которого является интенсивность отказов  $\lambda$ , (2) принимает вид:

$$K_B = \frac{I_2}{I_1}$$

В общем случае для каждой составной части значение  $K_B$  должно быть определено индивидуально. Впрочем для приближенного расчета ВБР значения  $K_B$  могут быть усреднены.

Сложность задачи заключается в определении вида функции  $P_{O\Theta}(t, t, I, K_B)$ . Интеграл в (1) может быть достаточно просто вычислен с помощью любой из известных прикладных математических программ (*Mathcad*, *Matlab*, *Maple* и др.).

1. Б. А. Козлов, И. А. Ушаков. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. Изд. «Советское Радио». 1975 г.