

**МОЛНАР А. М., РОДИОНОВА М. А., ФОРТУНОВА Н. А.**  
**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОСНОВНЫХ ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ**  
**ФАКТОРОВ НА НАДЕЖНОСТЬ РЭС**

**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы влияния тепловых режимов элементной базы радиоэлектронного средства на показатели надежности. Приведены примеры расчета показателей интенсивности отказов электрорадиоэлементов.

**Ключевые слова:** интенсивность отказа, надежность, температурный режим, резервированность.

**MOLNAR A. M., RODIONOVA M. A., FORTUNOVA N. A.**  
**ASSESSMENT OF THE EFFECT OF MAJOR IMPACT FACTORS**  
**ON RELIABILITY OF RADIOELECTRONIC EQUIPMENT**

**Abstract.** The issues of the effect of thermal modes of radioelectronic equipment element base on reliability indicators are considered. Examples of calculating the failure rate of electronic and radio components are given.

**Keywords:** failure rate, reliability, thermal mode, redundancy.

Надежная работа любого радиоэлектронного средства (РЭС) зависит от многих внешних воздействующих факторов (ВВФ). ВВФ называется явление, процесс или среда, внешние по отношению к изделию или его составным частям, которые вызывают или могут вызвать ограничение или потерю работоспособного состояния изделия в процессе эксплуатации.

Среди ВВФ различают: механические, климатические, биологические, ВВФ специальных сред, термические, ВВФ электромагнитных полей (рисунок 1).

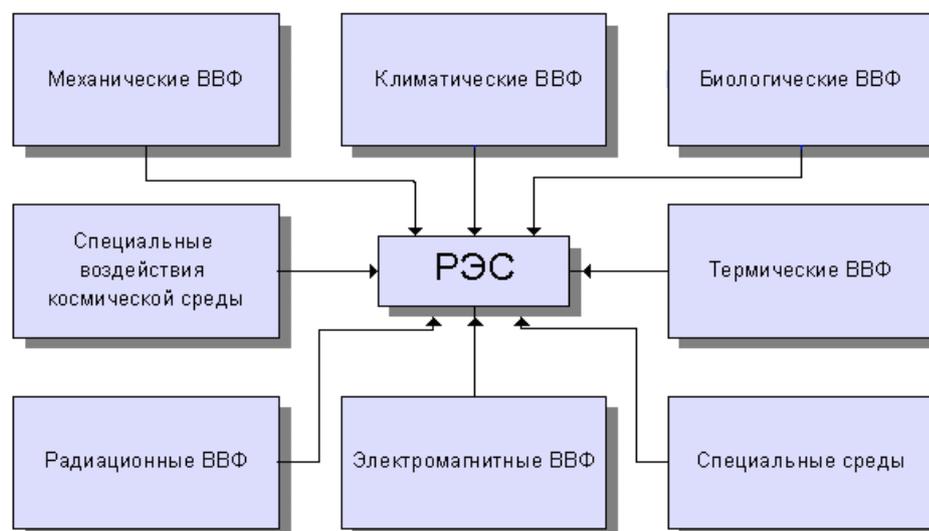


Рис. 1. Дестабилизирующие воздействия РЭС.

При проектировании и разработке РЭС, представляющего собой сложную многофункциональную систему, невозможно учесть все реальные факторы и условия эксплуатации. С учетом множества протекающих разнородных процессов, приводящих к отказам отдельных электрорадиоэлементов (ЭРЭ) и РЭС в целом, в качестве условий эксплуатации принимается совокупность ВВФ.

Обеспечение качества РЭС требует комплексного подхода. Тепловой режим элементной базы РЭС является одним из определяющих факторов его надежности, обеспечить которую не всегда может и входной контроль, т.к. не учитываются колебания питающей сети, разброс параметров элементов обвязки и т.д. Увеличение температуры ЭРЭ на каждые 10°C приводит к уменьшению показателей надежности на 30–50%. Так, при увеличении температуры бортовой аппаратуры с 60 до 80°C (рисунок 2) среднее время наработки на отказ  $T_{но}$  уменьшается почти в 2 раза.

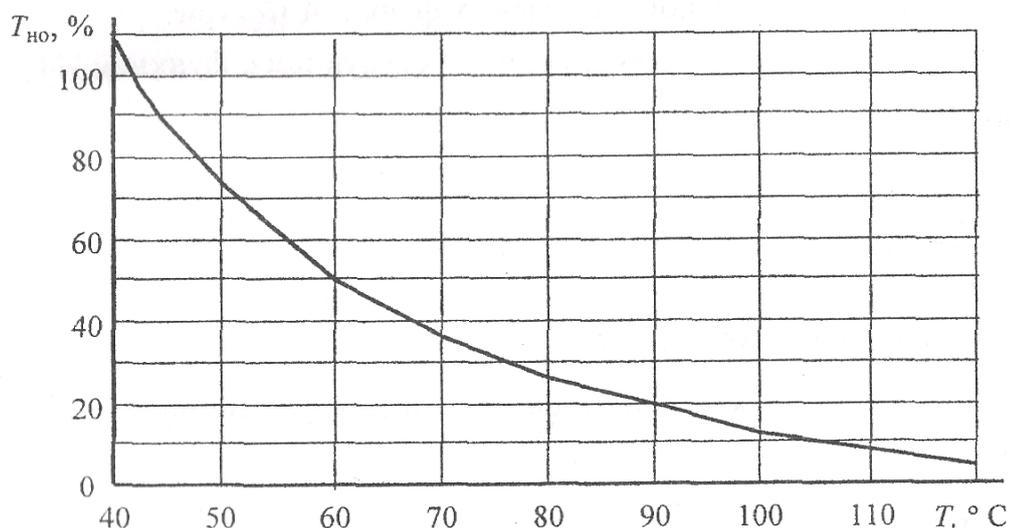


Рис. 2. Зависимость  $T_{но}$  бортовых РЭС от температуры элементной базы.

Расчет надежности РЭС осуществляется по формулам:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i, \quad (1)$$

$$\lambda_i = \lambda_{i0} \prod_{j=1}^m K_{ij}, \quad (2)$$

где  $\lambda_i$  – интенсивность отказов  $i$ -го элемента;  $n$  – число элементов;  $\lambda_{i0}$  – интенсивность отказов  $i$ -го элемента при некоторых стандартных условиях его использования;  $K_{ij}$  – коэффициенты, учитывающие влияние  $j$ -го фактора на  $i$ -й элемент, при воздействии только

температуры  $K=d\lambda/dT$ ;  $m$  – число факторов, характеризующих условия использования РЭС;  $i=1, 2, \dots, n$ ;  $j=1, 2, \dots, m$ .

Интенсивность отказов для элементов РЭС определяется опытным путем и приводится в виде таблиц значений и графиков. Для большинства элементов РЭС зависимость (2) с учетом влияния только температуры можно аппроксимировать формулой:

$$\lambda_i = A\lambda_{i0} \exp[b(T_r - T_{r0})], \quad (3)$$

где:  $T_r$  – температура критической зоны элемента в реальных условиях работы;  $T_{r0}$  – температура зоны в стандартных условиях;  $A, b$  – экспериментальные коэффициенты.

Зачастую сложно измерить температуру критической зоны элемента. Измерение температуры элемента обычно выполняется на его корпусе (температура корпуса элемента  $T_{\text{ЭК}}$ ) или у его корпуса (температура окружающей элемент среды  $T_{\text{ЭС}}$ ). Учитывая известные соотношения  $T_r = T_{\text{ЭК}} + R_{rk}P_{\text{Э}}$ ;  $T_r = T_{\text{ЭС}} + R_{rc}P_{\text{Э}}$ , где  $R_{rk}$  ( $R_{rc}$ ) – тепловое сопротивление между критической зоной и корпусом элемента (окружающей средой);  $P_{\text{Э}}$  – мощность, рассеиваемая элементом, вместо (3) получаем:

$$\lambda_i = A\lambda_{i0} \exp[b[(T_{\text{ЭС}} - T_{\text{ЭС}0}) + R_{rc}(P_{\text{Э}} - P_{\text{Э}0})]], \quad (4)$$

$$\lambda_i = A\lambda_{i0} \exp[b[(T_{\text{ЭК}} - T_{\text{ЭК}0}) + R_{rk}(P_{\text{Э}} - P_{\text{Э}0})]], \quad (5)$$

где индексом под индексом «0» приведены параметры при стандартных условиях. При  $A=1$  получается:

$$\lambda_i / \lambda_{i0} = \exp(bT_{\text{ЭС}} - c + dK_H), \quad (6)$$

где  $\lambda_{i0}$  – интенсивность отказов при  $T_{\text{ЭС}}=T_{\text{ЭС}0}$  и  $K_H=K_{H0}$ ;  $c=b(T_{\text{ЭС}0} + R_{rc}P_{\text{Э}0})$ ;

$$d=b R_{rc}P_{\text{Э}0};$$

$$K_H = P_{\text{Э}} / P_{\text{Э}0} - \text{коэффициент нагрузки.}$$

Для оценки изменения интенсивности отказов элементов РЭС при изменении температуры окружающей среды на 10К, вводят показатель, характеризующий:

$$\Delta\lambda(10) = \frac{\lambda_i(T + 10) - \lambda_i(T)}{\lambda_i(T)} \cdot 100 \quad (7)$$

На изменение интенсивности отказов от температуры влияет и количество ЭРЭ различных типов. Интенсивность отказов РЭС можно оценить по формуле:

$$\lambda(T) = \lambda(20) \exp(b(T_{\text{э-ср}} - 293)), \quad (8)$$

где:  $\lambda(20)$  – интенсивность отказов РЭА при  $T_{в\_ср} = 293$  К ( $20^\circ\text{C}$ );

$T_{в\_ср}$  – средняя температура воздуха в РЭА;

$b$  – экспериментальный коэффициент ( $b = 0,014\text{--}0,033$ ).

Приняв  $b = 0,022$  получим:

$$\lambda(T) = \lambda(20) \exp(0,022(T_{в\_ср} - 293)) \quad (9)$$

Таким образом, при изменении температуры воздуха внутри блока на 10К интенсивность отказов в среднем увеличивается на 25%.

Для электронных средств специального назначения характерно наличие резервированности. С целью повышения надежности на практике чаще всего используют параллельное подключение двух и более элементов. В данном случае рассматриваются невосстанавливаемые системы, состоящие из равнонадежных элементов. Отказом системы считается выход из строя (отказ) всех элементов.

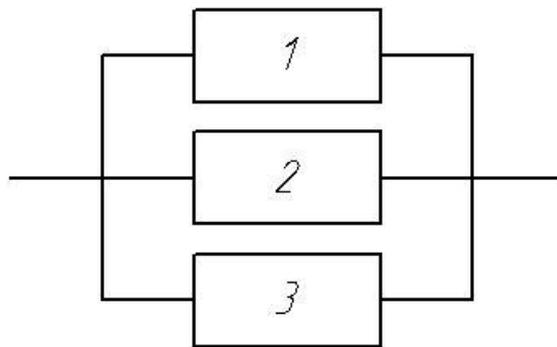


Рис. 3. Троируванная система.

Например, для троированной системы (рисунок 3) на основании использования теорем сложения и умножения вероятностей, аналитическое выражение для вероятности безотказной работы  $R(t)$  имеет следующий вид:

$$R(t) = 1 - \prod_{i=1}^3 [1 - R_i(t)] = \sum_{i=1}^3 R_i(t) + \prod_{i=1}^3 R_i(t) - [R_1(t) \cdot R_2(t) + R_2(t) \cdot R_3(t) + R_1(t) \cdot R_3(t)] \quad (10)$$

где  $R_i(t)$  – вероятность безотказной работы  $i$ -го элемента.

На практике подобные системы встречаются не часто, поскольку параллельное соединение выходов элементов может привести к паразитным влияниям резервируемых и

резервных элементов друг на друга. Необходимо наличие развязывающего элемента. В качестве такого элемента часто применяют мажоритар, а схема расчета надежности называется мажоритарной (рисунок 4).

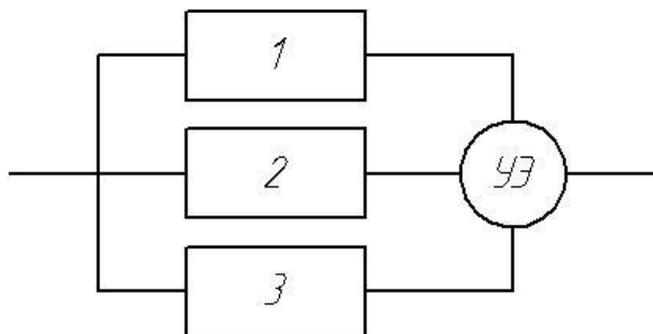


Рис. 4. Мажоритарная схема.

Узел на рис.4 будет работоспособным, если он находится в следующих двух состояниях (принимая управляющий элемент (УЭ) надежным):

*Состояние 1.* Работоспособны и 1, и 2, и 3.

*Состояние 2.* Работоспособны любые два устройства из 1, 2, 3.

Тогда, на основании законов вероятности, выражение для безотказной работы такой системы:

$$R(t) = R_1(t) \cdot R_2(t) + R_2(t) \cdot R_3(t) + R_1(t) \cdot R_3(t) - 2R_1(t)R_2(t)R_3(t) \quad (11)$$

Если элементы равнонадежны, а именно так в большинстве рассчитываются резервированные системы, то вероятность безотказной работы:

$$R(t) = 3R_1^2(t) - 2R_1^3(t), \quad (12)$$

На практике же, из-за условий эксплуатации и конструктивных особенностей приборов, наблюдается неравномерные режимы работы (в том числе и тепловые) узлов. Следовательно, резервирующие и резервируемые узлы устройства могут быть не равнонадежны.

Исследуем выражение (12), (для простоты положим  $R_3(t) = 1$ ):

$$\begin{aligned} R(t) &= R_1(t) \cdot R_2(t) + R_2(t) \cdot 1 + \\ &+ R_1(t) \cdot 1 - 2R_1(t)R_2(t) \cdot 1 = \\ &= R_1(t) + R_2(t) - R_1(t) \cdot R_2(t) \end{aligned} \quad (12)$$

Построим для наглядности график данной функции (рисунок 5).

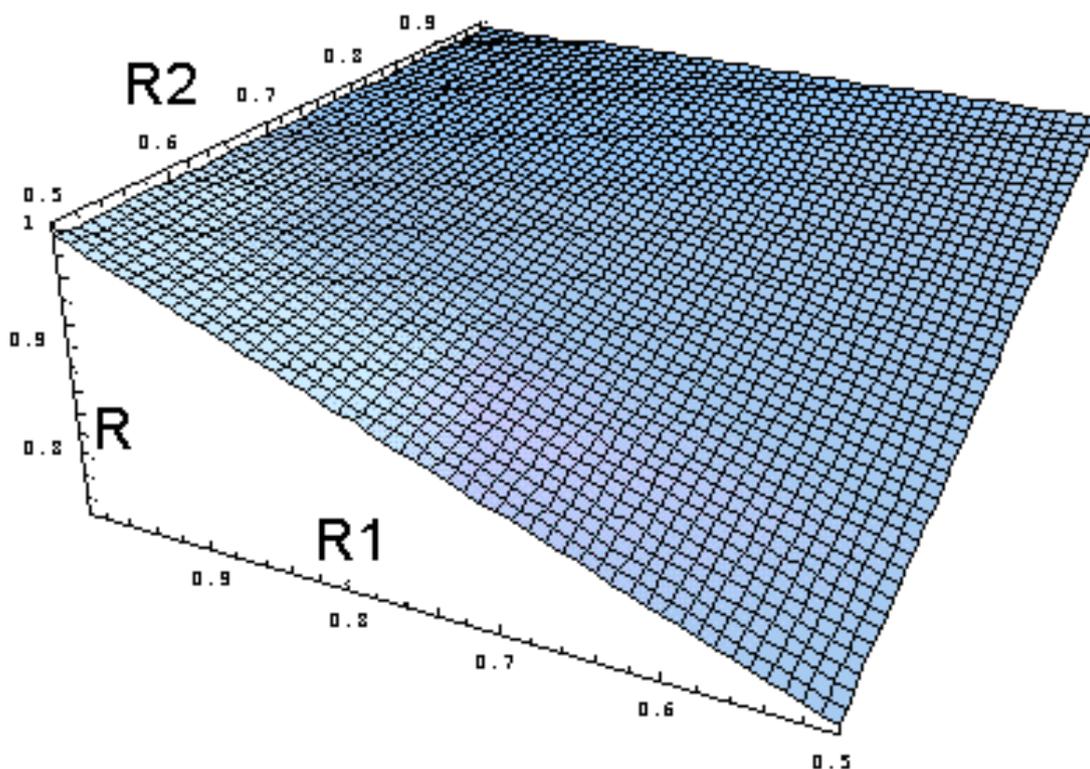


Рис. 5. Значения вероятности безотказной работы.

Как можно заметить из рисунка 5, неравномерность распределения вероятностей безотказной работы (ВБО) по узлам прибора в таком случае будет снижать ВБО всего устройства в целом. Поэтому одной из задач проектирования должно быть обеспечение равномерной нагрузки (в т.ч. и тепловой, как одной из основных, определяющих надежность) на подобные узлы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Роткоп Л. Л., Спокойный Ю. Е. Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Сов. радио, 1976. – 232 с.
2. Дульнев Г. Н., Парфенов В. Н., Сигалов А. Г. Методы расчета тепловых режимов прибора. – М.: Радио и связь, 1990. – 312 с.
3. Жданов В. В. Управление качеством при проектировании теплонагруженных радиоэлектронных средств. – М.: Солон-Пресс, 2004. – 464 с.