

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОТКАЗНОСТИ В ПРАКТИКЕ КОНСТРУИРОВАНИЯ РАДИОВЫСОТОМЕРОВ И РАДИОВЫСОТОМЕРНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ РАКЕТНОЙ ТЕХНИКИ

В. В. Жаднов, А. А. Иофин

На ранних этапах проектирования, где закладывается надежность, которая будет реализована при изготовлении и обеспечена при эксплуатации радиовысотометров (РВ) и радиовысотомерных систем (РВС) для тактических ракет, основным методом подтверждения требований по показателям безотказности является расчетная оценка (прогнозирование) их значений [1–3].

В соответствии с принятой в настоящее время практикой расчет показателей безотказности РЭС, в том числе РВ и РВС, проводится по методикам, приведенным в ОСТ 4 Г0.012.242 [4].

Так, методика расчета интенсивности отказов электронных модулей первого уровня (ЭМ1) основана на использовании соотношения

$$\Lambda = \sum_{i=1}^I \lambda_i, \quad (1)$$

где  $\Lambda$  – интенсивность отказов ЭМ1;  $I$  – общее число электрорадиоизделий (ЭРИ) в ЭМ1,  $\lambda_i$  – интенсивность отказов  $i$ -го ЭРИ.

Расчет интенсивности отказов ЭРИ в формуле (1) проводится по математическим моделям эксплуатационной интенсивности отказов ЭРИ, приведенным в справочнике «Надежность ЭРИ» [5], который в соответствии с РДВ 319.01.20 [6] является официальным изданием Министерства обороны. Справочник [5] формируется в соответствии со схемой, приведенной на рис. 1.



Рис. 1. Схема формирования справочника «Надежность ЭРИ»

Как следует из рис. 1, в справочнике [5] приведены математические модели эксплуатационной интенсивности отказов ЭРИ не только для режима работы, но и для режима ожидания (хранения), причем вид последних зависит от типа объекта установки:

– для неподвижных объектов

$$\lambda_{\text{Э.Х}} = \lambda_6 \cdot K_X \cdot K_{t.X} \cdot K_{\text{Усл}} \cdot K_{\text{Пр}}; \quad (2)$$

– для подвижных объектов

$$\lambda_{\text{Э.Х}} = \lambda_6 \cdot K_X \cdot K_{t.X} \cdot K_{\text{Э}} \cdot K_{\text{Пр}}, \quad (3)$$

где  $\lambda_{\text{Э.Х}}$  – интенсивность отказов ЭРИ в режиме ожидания (хранения);  $\lambda_6$  – базовая интенсивность отказов;  $K_X$  – коэффициент хранения;  $K_{t.X}$  – коэффициент, учитывающий изменение интенсивности отказов  $\lambda_{\text{Э.Х}}$  в зависимости от температуры окружающей среды;  $K_{\text{Усл}}$  – коэффициент, учитывающий изменение интенсивности отказов  $\lambda_{\text{Э.Х}}$  в зависимости от условий эксплуатации в режиме ожидания (хранения);  $K_{\text{Э}}$  – коэффициент эксплуатации, учитывающий степень жесткости условий эксплуатации;  $K_{\text{Пр}}$  – коэффициент приемки, учитывающий степень жесткости требований к контролю качества и правила приемки изделий.

Значения параметров и коэффициентов моделей (2), (3) определяются по таблицам справочника [5].

Рекомендуемые значения коэффициента  $K_{\text{Усл}}$ :

- в отапливаемом помещении – 1,0;
- в не отапливаемом помещении – 1,2;
- под навесом – 1,4.

Кроме того, для расчета значений коэффициента  $K_{t.X}$  в справочнике [5] для различных классов ЭРИ также приведены соответствующие математические модели. Например, для класса «Резисторы» математическая модель имеет вид

$$K_{t.X} = \begin{cases} A \cdot e^{B \left( \frac{t_{0\text{Э.Х}} + 273}{N_T} \right)^G} \cdot e^{B_1 \left( \frac{t_{0\text{Э.Х}} + 273}{273} \right)^J} & \text{для } 40^\circ\text{C} \leq t_{0\text{Э.Х}} \leq 60^\circ\text{C}, \\ 1 & \text{для } t_{0\text{Э.Х}} < 40^\circ\text{C}, \end{cases} \quad (4)$$

где  $A, B, N_T, G, B_1, J$  – постоянные коэффициенты модели;  $t_{0\text{Э.Х}}$  – температура окружающей среды, °C.

Из формулы (4) видно, что значение  $K_{t.X}$  существенно зависит от температуры окружающей среды в режиме ожидания (хранения).

В соответствии с методическими рекомендациями, приведенными в справочнике [5], модели (2)–(3) следует применять для расчетов интенсивности отказов ЭРИ, входящих в состав аппаратуры, которая в эксплуатации основную часть времени находится в режиме ожидания (хранения) в обесточенном состоянии с периодическим контролем работоспособности, например, РВ и РВС тактических ракет.

Такой режим применения РВ и РВС можно рассматривать как «сеансный» режим. Интенсивность отказов для этого режима ( $\lambda_C$ ) определяется по формуле, приведенной в РДВ 319.01.19 [7]:

$$\lambda_C = K_{\text{И}} \cdot \lambda_{\text{Э.Р}} + (1 - K_{\text{И}}) \cdot \lambda_{\text{Э.Х}}, \quad (5)$$

где  $K_{\text{И}}$  – коэффициент использования ЭРИ;  $\lambda_{\text{Э.Р}}$  – интенсивность отказов ЭРИ в режиме работы;  $\lambda_{\text{Э.Х}}$  – интенсивность отказов ЭРИ в режиме ожидания (хранения).

Коэффициент использования ЭРИ равен

$$K_{\text{И}} = \frac{\tau_{\Sigma\text{РР}}}{\tau_{\Sigma\text{РР}} + \tau_{\Sigma\text{Э.Х}}}, \quad (6)$$

где  $\tau_{\Sigma\text{РР}}$ ,  $\tau_{\Sigma\text{Э.Х}}$  – суммарные времена нахождения ЭРИ в режиме работы и в режиме ожидания (хранения) за срок службы соответственно.

Полученные в результате расчетов значения  $\lambda_C$  используются для расчетов  $\Lambda$  по формуле (1), которые, в свою очередь, являются исходными данными в методиках, приведенных в ОСТ 4 Г0.012.242 [4] для расчетов показателей безотказности РЭС по структурным схемам надежности (СН).

Как правило, составные части радиовысотомеров (электронные блоки, узлы, модули и др.) для ракетно-космической техники имеют резервирование. Поэтому рассмотренный выше метод не пригоден для расчета надежности резервированных блоков радиовысотомеров, так как у них в момент включения все модули (включая резервные) должны находиться в работоспособном состоянии.

Из этого следует, что СН такой аппаратуры для режима работы и режима ожидания (хранения) не совпадают, так как в режиме ожидания (хранения) СН должна быть представлена в виде «последовательного соединения» составных частей.

В этом случае показатели безотказности РВ и РВС определяются по формулам

$$P = e^{-\Lambda_{xp} \cdot \tau_{\Sigma \text{ЭХ}}} \cdot P(\text{СН}_{\text{РР}}), \quad (7)$$

$$T_0 = \int_0^{\tau_{\Sigma \text{ЭХ}} + \tau_{\Sigma \text{РР}}} P(\tau) d\tau, \quad (8)$$

где  $P$  – вероятность безотказной работы;  $\Lambda_{xp}$  – интенсивность отказов в режиме ожидания (хранения);  $T_0$  – средняя наработка;  $P(\text{СН}_{\text{РР}})$  – вероятность безотказной работы в рабочем режиме.

Еще одной особенностью рассматриваемого класса РВ и РВС является то, что в соответствии с ТУ у них изменяются условия хранения в течение срока  $\tau_{\Sigma \text{ЭХ}}$  (хранение на складе завода-изготовителя, транспортирование к месту хранения, хранение на складе потребителя, хранение на борту объекта установки и т.д.).

Как отмечено выше, такой режим ожидания (хранения) также можно рассматривать как «сеансный» режим и для расчета  $\lambda_{\text{ЭХ}}$  ЭРИ использовать модель (5), для удобства представив ее в следующем виде:

$$\lambda_{\text{ЭХ}} = \frac{\sum_{j=1}^J (\lambda_{\text{ЭХ}_j} \cdot \tau_{\Sigma \text{ЭХ}_j})}{\tau_{\Sigma \text{ЭХ}}}, \quad (9)$$

где  $\lambda_{\text{ЭХ}_j}$  – интенсивность отказов ЭРИ в  $j$ -х условиях ожидания (хранения);  $\tau_{\Sigma \text{ЭХ}_j}$  – суммарное время нахождения ЭРИ в  $j$ -х условиях ожидания (хранения) за срок  $\tau_{\Sigma \text{ЭХ}}$ ;  $J$  – общее число условий ожидания (хранения).

При использовании приведенной выше методики расчета показателей безотказности РВ и РВС для режима хранения в формуле (7) необходимое для расчета показателей безотказности значение  $\Lambda_{xp}$  определяется по модели (1) при  $\lambda = \lambda_{\text{ЭХ}}$ .

Следует подчеркнуть, что модель (7) позволяет получить «нижнюю» оценку  $P$ , так как она не учитывает взаимосвязь отказов одних и тех же ЭРИ в режимах ожидания (хранения) и работы. Поэтому, если полученные значения показателей безотказности РЭС не удовлетворяют требованиям, для уточнения их значений следует применять рекомендованный в ГОСТ 27.301-95 [8] метод имитационного моделирования, а точнее, соответствующие программные средства. Однако, несмотря на широкий выбор программных сред (языков имитационного моделирования), предпочтение следует отдавать специализированным программам, таким, например, как система АСОНИКА-К-РЭС [7] (рис. 2) программного комплекса АСОНИКА-К [9].

В заключение следует отметить, что приведенная методика расчета позволяет получить лишь прогнозную оценку ожидаемого уровня показателей безотказности РВ и РВС для ракетной техники. Поэтому для подтверждения этих значений необходимо проводить испытания на безотказность с использованием методов статистического контроля [10–12].

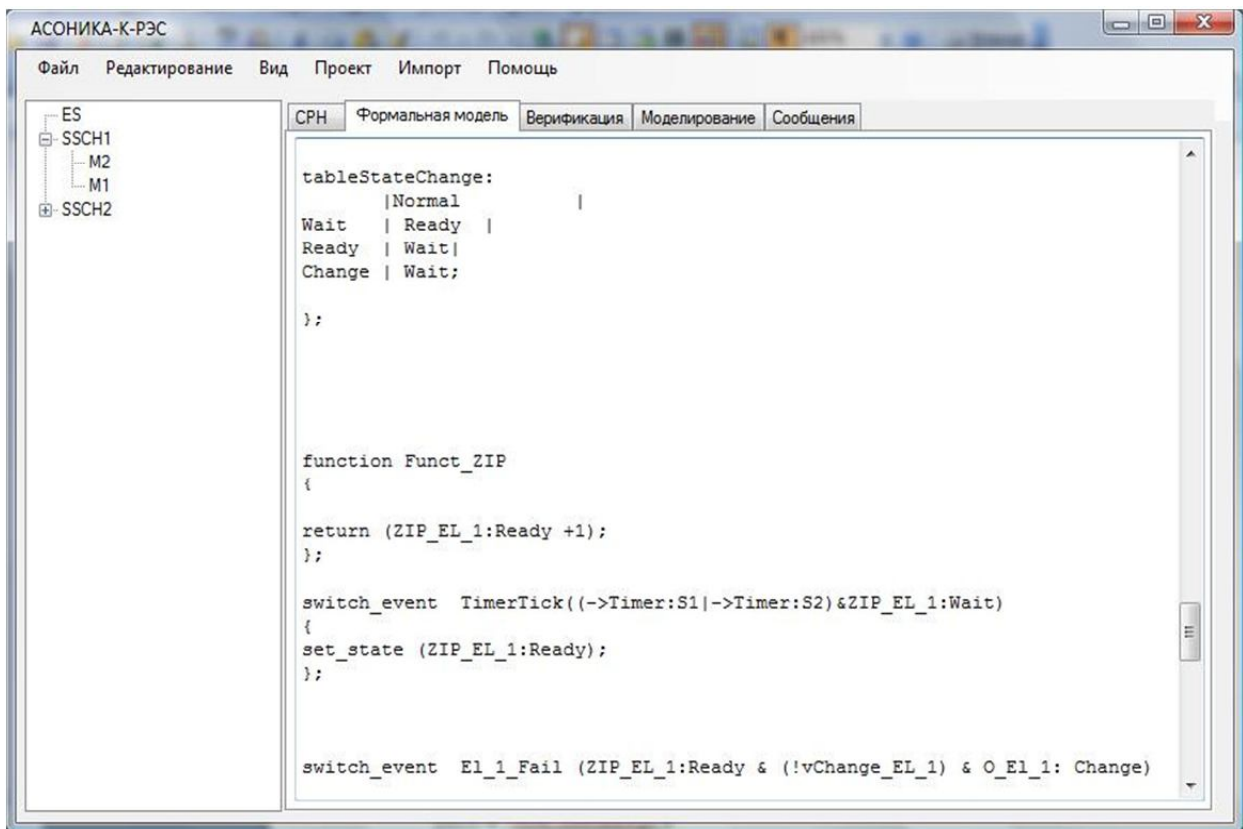


Рис. 2. Интерфейс системы АСОНИКА-К-РЭС

### Список литературы

1. Информационная поддержка моделирования РЭА на ранних этапах проектирования / В. В. Жаднов, И. В. Жаднов, А. Н. Игнатовский, А. А. Иофин // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2004. – Т. 1. – С. 186–188.
2. Северцев, Н. А. К вопросу об утрате работоспособности систем / Н. А. Северцев, А. В. Бецков, А. М. Самокутяев // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2013. – Т. 2. – С. 268–270.
3. Информационная технология многофакторного обеспечения надежности сложных электронных систем / Н. К. Юрков, А. В. Затылкин, С. Н. Полесский, И. А. Иванов, А. В. Лысенко // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 4. – С. 75–79.
4. ОСТ 4 Г0.012.242-84. Аппаратура радиоэлектронная. Методы расчета показателей надежности.
5. Надежность ЭРИ : справочник. – М. : МО РФ, 2006. – 256 с.
6. РДВ 319.01.20-98. Положение о справочнике «Надежность электрорадиоизделий».
7. Zhadnov, V. V. Simulation modeling in estimating reliability of fail-safe electronic equipment / V. V. Zhadnov, A. N. Tikhmenev // Надежность. – 2013. – № 1. – С. 44–54.
8. ГОСТ 27.301-95. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения.
9. Абрамешин, А. Е. Информационная технология обеспечения надежности электронных средств наземно-космических систем / А. Е. Абрамешин, В. В. Жаднов, С. Н. Полесский ; отв. ред. В. В. Жаднов. – Екатеринбург : Форт Диалог-Исеть, 2012. – 565 с.
10. Пономарев, Л. И. Методы осуществления статистического контроля и анализа качества электронных средств / Л. И. Пономарев, В. В. Жаднов, А. А. Иофин, А. А. Артюхов. – М. : Радио и связь, 2005. – 72 с.
11. Дивеев, А. И. Синтез оптимального закона управления потоками транспорта в сети автодорог на основе генетического алгоритма / А. И. Дивеев, Н. А. Северцев // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2003. – № 3. – С. 87.
12. Программа инженерного расчета температуры перегрева кристалла электрорадиокомпонента и его теплоотвода / Н. В. Горячев, А. В. Лысенко, И. Д. Граб, Н. К. Юрков // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2012. – Т. 1. – С. 340.

**Жаднов Валерий Владимирович**

кандидат технических наук, доцент,  
кафедра радиоэлектроники и телекоммуникаций,  
Московский институт электроники и математики  
Национального исследовательского университета  
«Высшая школа экономики»  
(101000, Россия, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20)  
(495) 916-88-80  
E-mail: vzhadnov@hse.ru

**Иофин Александр Аронович**

кандидат технических наук, начальник отдела,  
заместитель главного конструктора,  
Уральское проектно- конструкторское бюро «Деталь»  
(623409, Россия, г. Каменск-Уральский,  
ул. Пионерская, д. 8)  
34378 39266  
E-mail: upkb@nexcom.ru

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы расчетной оценки показателей безотказности радиовысотометров и радиовысотометрных систем для ракетной техники, которые большую часть времени находятся в режиме ожидания с периодическим контролем работоспособности. Показано, что для таких систем необходимо учитывать различные режимы хранения, а также приведены основные расчетные соотношения.

**Ключевые слова:** показатели безотказности, радиовысотометры, расчетная оценка, интенсивность отказов, режимы эксплуатации.

**Zhadnov Valeriy Vladimirovich**

candidate of technical sciences, associate professor,  
sub-department of radio electronic  
and telecommunications,  
Moscow Institute of Electronic and Mathematic  
of National Research University  
«High School of Economics»  
(101000, 20 Myasnitskaya street, Moscow, Russia)

**Iofin Aleksandr Aronovich**

candidate of technical sciences, head of department,  
deputy chief designer,  
Ural Design Bureau «Detail»,  
(623409, 8 Pionerskaya street,  
Kamensk-Ural'skiy, Russia)

**Abstract.** The problems of estimation of indicators of reliability of radio altimeters and radio altimeters systems for missile technology, which most of the time in standby mode with periodic monitoring performance are considered. It is shown that for such systems should take into account the different storage modes and are the key ratios calculated.

**Key words:** indicators of reliability, radio altimeters, the calculated score, AFR, operating modes.

УДК 621.396.6, 621.8.019.8

**Жаднов, В. В.**

Методологические аспекты расчета показателей безотказности в практике конструирования радиовысотометров и радиовысотометрных систем для ракетной техники / В. В. Жаднов, А. А. Иофин // Надежность и качество сложных систем. – 2015. – № 2 (10). – С. 42–46.