

На рис. 3 введены следующие обозначения:

- $F1$ – зависимость эксплуатационной интенсивности отказов, полученная по модели (4)

- $F2$ – зависимость эксплуатационной интенсивности отказов, полученная по модели (2).

Макромодель (15) представляет собой систему уравнений для различных групп аппаратуры:

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda_{j,1} = \lambda_{j,\delta} \cdot k_{j,1} \cdot (A_1 + A_2 \cdot K_H) \cdot e^{(B_{j1} + B_{j2} \cdot K_H)^T} \\ \lambda_{j,2} = \lambda_{j,\delta} \cdot k_{j,2} \cdot (A_1 + A_2 \cdot K_H) \cdot e^{(B_{j1} + B_{j2} \cdot K_H)^T}, \\ \dots \\ \lambda_{j,I} = \lambda_{j,\delta} \cdot k_{j,I} \cdot (A_1 + A_2 \cdot K_H) \cdot e^{(B_{j1} + B_{j2} \cdot K_H)^T} \end{array} \right., \quad (16)$$

где $k_{j,i}$ – значения коэффициента эксплуатации СЧ j -го типоразмера (учитывающий жесткость условий эксплуатации) для i -той группы аппаратуры; $i = 1, 2, \dots, I$.

Практическое использование методики синтеза макромоделей составных частей было осуществлено в отделе надёжности ФГУП «НИИ АА им. акад. В.С. Семенихина» при расчёте надёжности АСУ специального назначения, а также в отделе надёжности ФГУП «НИИ Импульсной Техники» при расчете аппаратурных и приборных комплексов для измерений кратковременных быстропротекающих процессов при регистрации электромагнитного, оптического, ионизирующего излучений и сейсмических волн.

Поглавная эксплуатация подсистемы АСОНИКА-К подтвердила возможность ее применения для определения параметров макромоделей надежности СЧ РЭЛ.

Список литературы

1. Прытков С. Ф. Надежность ЭРИ: Справочник. / С. Ф. Прытков, В. М. Горбачева, А. А. Борисов и др. // Науч. рук. С. Ф. Прытков – М.: 22 ЦНИИ МО РФ, 2002. – 574 с.
2. Автоматизация проектных исследований надежности радиоэлектронной аппаратуры: Научное издание // Жаднов В.В., Кофанов Ю.Н., Малютин Н.В. и др. – М.: Изд-во «Радио и связь», 2003. – 156 с.
3. Лазарев Д. В. Использование макромоделей составных частей при расчетах надежности РЭА. / Лазарев Д. В., Жаднов В. В., Пименов А. А. // Современные проблемы радиоэлектроники: Сб. научн. тр. - Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2004. - с. 528-530.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ХАРАКТЕРИСТИК НАДЕЖНОСТИ НА ПРИМЕРЕ УСТРОЙСТВА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Д. В. Лазарев, В. В. Жаднов (научный руководитель)

Московский государственный институт электроники и математики
109028, Москва, пер. Б. Трехсвятительский, 3/12, стр.8

E-mail: asonika-k@mail.ru

Practical using the reliability characteristic models by transformation device examples
D. Lazarev, V. Jadnov

Practical use the synthesized mathematical models is considered for calculation of reliability device transformations for information, as well as identification their parameter using the programme complex АСОНИКА-К.

Рассмотрим методику применения синтеза макромодели и идентификации ее параметров на примере расчета надежности устройства преобразования информации.

На рис. 1 приведен внешний вид устройства преобразования информации.

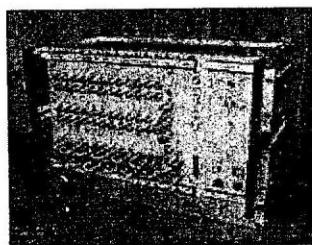


Рис. 1. Внешний вид устройства преобразования информации

Для данного устройства необходимо найти синтезированную макромодель [5] в виде:

$$\lambda_{s,j} = \lambda_{j\delta} \cdot K_{s,i} \cdot (A_1 + A_2 \cdot K_H) \cdot e^{(B_1 + B_2 \cdot K_H)T}, \quad (1)$$

где $\lambda_{s,j}$ – эксплуатационная интенсивность отказов СЧ j -го типоразмера; $\lambda_{j\delta}$ – базовая интенсивность отказов СЧ j -го типоразмера (при нормальных условиях (НУ) и номинальной нагрузке); $K_{s,i}$ – вектор значений коэффициента эксплуатации СЧ j -го типоразмера (учитывающий жесткость условий эксплуатации) для i -й группы аппаратуры; T – температура среды, окружающей СЧ, при которой получены рабочие температуры ЭРИ, приведенные в картах рабочих режимов (КРР); K_H – коэффициент электрической нагрузки; A_1, A_2, B_1, B_2 – некоторые коэффициенты.

Исходными данными для идентификации параметров макромодели этого устройства являются:

- таблица значений зависимости эксплуатационной интенсивности отказов этого устройства от электрической нагрузки и от температуры окружающей среды для какой-либо группы аппаратуры;

- коэффициенты эксплуатации этого устройства для различных условий применения.

В табл. 1 приведены значения эксплуатационной интенсивности отказов устройства преобразования информации от электрической нагрузки (заданных дискретно с шагом 0.1) и от температуры окружающей среды (заданных дискретно с шагом 5 градусов) для группы аппаратуры 1.1, рассчитанные с помощью подсистемы расчета надежности составных частей программного комплекса АСОНИКА-К.

Таблица 1

T	λ_3 при λ_3									
$K_H=0.1$	$K_H=0.2$	$K_H=0.3$	$K_H=0.4$	$K_H=0.5$	$K_H=0.6$	$K_H=0.7$	$K_H=0.8$	$K_H=0.9$	$K_H=1.0$	
25	2.435e-6	2.539e-6	2.643e-6	2.747e-6	2.851e-6	2.955e-6	3.059e-6	3.163e-6	3.268e-6	3.373e-6
30	2.621e-6	2.825e-6	3.029e-6	3.233e-6	3.437e-6	3.642e-6	3.847e-6	4.052e-6	4.257e-6	4.463e-6
35	2.837e-6	3.141e-6	3.446e-6	3.751e-6	4.056e-6	4.361e-6	4.666e-6	4.972e-6	5.278e-6	5.485e-6
40	3.092e-6	3.497e-6	3.902e-6	4.308e-6	4.713e-6	5.119e-6	5.526e-6	5.932e-6	6.340e-6	6.748e-6
45	3.397e-6	3.903e-6	4.409e-6	4.916e-6	5.422e-6	5.929e-6	6.437e-6	6.945e-6	7.454e-6	7.963e-6
50	3.767e-6	4.375e-6	4.982e-6	5.590e-6	6.198e-6	6.707e-6	7.316e-6	7.926e-6	8.536e-6	9.148e-6
55	4.223e-6	4.932e-6	5.641e-6	6.351e-6	7.061e-6	7.772e-6	8.483e-6	9.196e-6	9.809e-6	1.052e-5
60	4.791e-6	5.603e-6	6.415e-6	7.227e-6	8.040e-6	8.853e-6	9.668e-6	1.048e-5	1.120e-5	1.202e-5
65	5.509e-6	6.424e-6	7.339e-6	8.255e-6	9.171e-6	1.059e-5	1.091e-5	1.183e-5	1.275e-5	1.367e-5
70	6.424e-6	7.444e-6	8.463e-6	9.484e-6	1.051e-5	1.153e-5	1.255e-5	1.358e-5	1.461e-5	1.564e-5
75	7.604e-6	8.730e-6	9.856e-6	1.098e-5	1.201e-5	1.314e-5	1.427e-5	1.531e-5	1.644e-5	1.758e-5
80	9.139e-6	1.037e-5	1.151e-5	1.274e-5	1.398e-5	1.512e-5	1.636e-5	1.751e-5	1.876e-5	1.991e-5

Также приведены коэффициенты эксплуатации для устройства, которые рассчитывались по формуле $k_{s,i} = \frac{\lambda_i}{\lambda_s}$ (2) [3] для различных групп аппаратуры при температуре 25°C и номинальной нагрузке:

- для группы аппаратуры 1.1, 5.1, 5.2 $K_3=1$;
- для группы аппаратуры 1.2 $K_3=1.66$;
- для группы аппаратуры 1.3-1.10 $K_3=3.43$;
- для группы аппаратуры 2.1.1, 2.1.2, 2.3.1 $K_3=2.79$;
- для группы аппаратуры 2.1.3, 2.3.3 $K_3=4.22$;
- для группы аппаратуры 2.1.5, 2.3.5 $K_3=4.94$;
- для группы аппаратуры 2.2, 2.4, 2.1.4, 2.3.4 $K_3=4.4$;
- для группы аппаратуры 3.1 $K_3=7.93$;
- для группы аппаратуры 3.2 $K_3=4.15$;
- для группы аппаратуры 3.3, 3.4 $K_3=8.96$;
- для группы аппаратуры 4.1-4.9 в условиях запуска $K_3=11.15$;
- для группы аппаратуры 4.1-4.9 в условиях свободного полета $K_3=4.39$;
- для группы аппаратуры 4.6 в условиях бреющего полета $K_3=6.03$.

Для определения параметров макромодели (1) для устройства преобразования информации пронормируем значения в табл. 1 на значение эксплуатационной интенсивности отказов устройства при температуре 25 °C и номинальной нагрузке (пронормируем на базовое значение эксплуатационной интенсивности отказов этого устройства).

Пронормированные значения приведены в табл. 2.

Таблица 2

T	при $K_H=0.1$	при $K_H=0.2$	при $K_H=0.3$	при $K_H=0.4$	при $K_H=0.5$	при $K_H=0.6$	при $K_H=0.7$	при $K_H=0.8$	при $K_H=0.9$	при $K_H=1.0$
25	1.000	1.043	1.085	1.128	1.171	1.213	1.256	1.299	1.342	1.385
30	1.076	1.160	1.244	1.328	1.412	1.496	1.580	1.664	1.748	1.833
35	1.165	1.290	1.415	1.540	1.666	1.791	1.916	2.042	2.168	2.253
40	1.270	1.436	1.603	1.769	1.936	2.102	2.269	2.436	2.604	2.771
45	1.395	1.603	1.811	2.019	2.227	2.435	2.644	2.852	3.061	3.270
50	1.547	1.797	2.046	2.296	2.545	2.754	3.004	3.255	3.506	3.757
55	1.734	2.025	2.317	2.608	2.900	3.192	3.484	3.776	4.028	4.322
60	1.968	2.301	2.634	2.968	3.302	3.636	3.970	4.305	4.600	4.936
65	2.262	2.638	3.014	3.390	3.766	4.349	4.479	4.857	5.236	5.615
70	2.638	3.057	3.476	3.895	4.314	4.735	5.155	5.577	5.999	6.422
75	3.123	3.585	4.048	4.510	4.933	5.397	5.862	6.286	6.753	7.221
80	3.753	4.260	4.726	5.234	5.742	6.210	6.720	7.190	7.703	8.175

Далее для каждого столбца табл. 2, содержащего значения для различных электрических нагрузок, найдем коэффициенты $b_{j,1}, b_{j,2}$ функции $f_{ji}\{b_{j,1}, b_{j,2}, \dots, b_{j,M}, T\} = b_{j,1} \cdot e^{b_{j,2}T}$ [4].

Для коэффициента $K_H=0.1$: $b_{j,1} = 0.504; b_{j,2} = 0.024$.

То есть для коэффициента $K_H=0.1$ $f\{b_{j,1}, b_{j,2}, T\} = 0.504 \cdot e^{0.024T}$.

На рис. 2 приведена нелинейная аппроксимация экспоненциальной регрессией для значений второго столбца табл. 2 от температуры для устройства преобразования информации для группы аппаратуры 1.1.

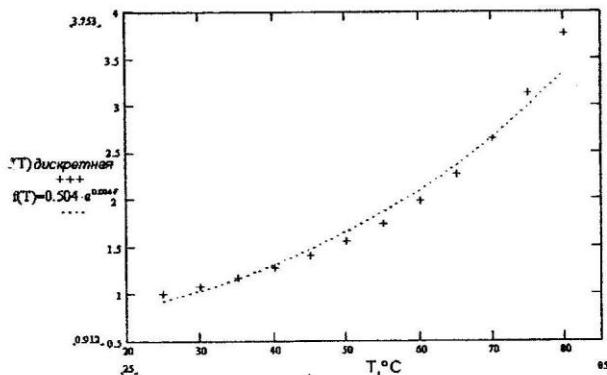


Рис. 2. Нелинейная аппроксимация экспоненциальной регрессией для нормированных значений эксплуатационной интенсивности отказов устройства преобразования информации от температуры для коэффициента электрической нагрузки 0.1 для группы аппаратуры 1.1.

Погрешность аппроксимации составила 10 %.

Для коэффициента $K_H=0.2$: $b_{j,1} = 0.531$; $b_{j,2} = 0.025$.

Для коэффициента $K_H=0.3$: $b_{j,1} = 0.559$; $b_{j,2} = 0.026$.

Для коэффициента $K_H=0.4$: $b_{j,1} = 0.586$; $b_{j,2} = 0.027$.

Для коэффициента $K_H=0.5$: $b_{j,1} = 0.614$; $b_{j,2} = 0.028$.

Для коэффициента $K_H=0.6$: $b_{j,1} = 0.639$; $b_{j,2} = 0.029$.

Для коэффициента $K_H=0.7$: $b_{j,1} = 0.670$; $b_{j,2} = 0.029$.

Для коэффициента $K_H=0.8$: $b_{j,1} = 0.700$; $b_{j,2} = 0.030$.

Для коэффициента $K_H=0.9$: $b_{j,1} = 0.727$; $b_{j,2} = 0.030$.

Для коэффициента $K_H=1.0$: $b_{j,1} = 0.751$; $b_{j,2} = 0.031$.

Находим линейную аппроксимацию зависимости коэффициентов $b_{j,1}$, $b_{j,2}$ от электрической нагрузки.

В табл. 3 приведены зависимости коэффициентов $b_{j,1}$, $b_{j,2}$ от коэффициента электрической нагрузки.

Таблица 3

K_H	$b_{j,1}$	$b_{j,2}$
0.1	0.504	0.024
0.2	0.531	0.025
0.3	0.559	0.026
0.4	0.586	0.027
0.5	0.614	0.028
0.6	0.639	0.029
0.7	0.670	0.029
0.8	0.700	0.030
0.9	0.727	0.030
1.0	0.751	0.031

Найдем коэффициенты A_1 , A_2 , B_1 , B_2 функций $b_{j,1}(K_H) = A_1 + A_2 \cdot K_H$ (4) и $b_{j,2}(K_H) = B_1 + B_2 \cdot K_H$ (5) [5].

На рис. 3 приведена зависимость коэффициента $b_{j,1}$ от коэффициента электрической нагрузки для электронного модуля группы 1.1, а также аппроксимирующая ее функция.

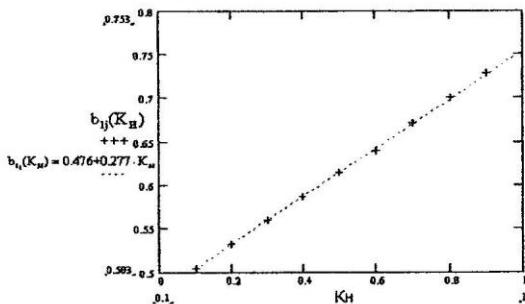


Рис. 3. Зависимость коэффициента $b_{j,1}$ от коэффициента электрической нагрузки для устройства преобразования информации группы 1.1, а также аппроксимирующая ее функция

Для коэффициента $b_{j,1}$: $A_1=0.476$; $A_2=0.277$ из (4)

То есть для коэффициента $b_{j,1}$ $b_{j,1}(K_H) = 0.476 + 0.277 \cdot K_H$.

Погрешность аппроксимации составила 0.36 %.

Для коэффициента $b_{j,2}$: $B_1=0.024$; $B_2=0.0075$ из (5)

То есть для коэффициента $b_{j,2}$ $b_{j,2}(K_H) = 0.024 + 0.0075 \cdot K_H$.

Погрешность аппроксимации составила 1.83 %.

На рис. 4 приведена зависимость коэффициента $b_{j,2}$ от коэффициента электрической нагрузки для электронного модуля группы 1.1, а также аппроксимирующая ее функция.

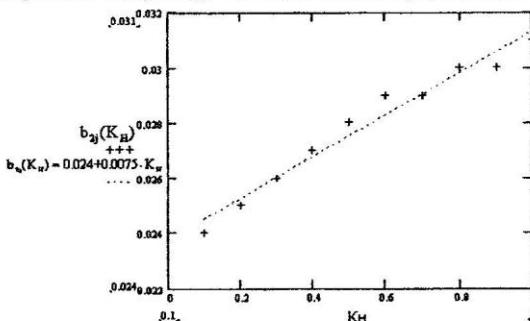


Рис. 4. Зависимость коэффициента $b_{j,2}$ от коэффициента электрической нагрузки для устройства преобразования информации группы 1.1, а также аппроксимирующая ее функция

Таким образом, полная макромодель устройства преобразования информации выглядит следующим образом:

$$\lambda_{3,j} = 2.435e-6 \cdot K_{3,i} \cdot (0.476 + 0.277 \cdot K_H) \cdot e^{(0.024 + 0.0075 \cdot K_H) \cdot T}, \quad (6)$$

где $\lambda_{\text{э},j}$ – эксплуатационная интенсивность отказов СЧ_j-го типоразмера; 2.235e-6 – базовая интенсивность отказов устройства преобразования информации (при нормальных условиях (НУ) иnominalной нагрузке); $K_{\text{з}i}$ – вектор значений коэффициента эксплуатации устройства преобразования информации (учитывающий жесткость условий эксплуатации) для i-й группы аппаратуры; T – температура среды, окружающей устройства преобразования информации, при которой получены рабочие температуры ЭРИ, приведенные в картах рабочих режимов (КРР); K_n – коэффициент электрической нагрузки.

На рис. 5 приведена зависимость (6) эксплуатационной интенсивности отказов устройства преобразования от коэффициента электрической нагрузки и температуры окружающей среды для группы аппаратуры 1.1.

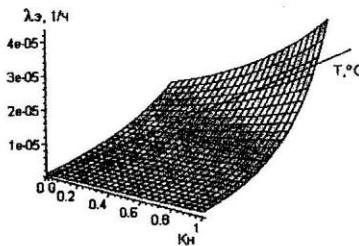


Рис. 5. Зависимость эксплуатационной интенсивности отказов устройства преобразования информации от температуры и электрической нагрузки для определенной группы аппаратуры, построенная по макромодели (6)

Наибольшая погрешность макромодели устройства преобразования информации будет наблюдаться на краевых точках при $K_H=0.1$ и $T=25^{\circ}\text{C}$ и при $K_H=1.0$ и $T=80^{\circ}\text{C}$.

При $K_H=0.1$ и $T=25^{\circ}\text{C}$ относительная погрешность составила 7 %.

При $K_H=1.0$ и $T=80^{\circ}\text{C}$ относительная погрешность составила 11.3 %.

Таким образом, относительная погрешность макромодели (6) устройства преобразования информации не более 11.3 %.

Список литературы

- Прытков С. Ф. Надежность ЭРИ: Справочник. / С. Ф. Прытков, В. М. Горбачева, А. А. Борисов и др. // Науч. рук. С. Ф. Прытков – М.: 22 ЦНИИ МО РФ, 2002. – 574 с.
- Автоматизация проектных исследований надежности радиоэлектронной аппаратуры: Научное издание // Жаднов В.В., Кофанов Ю.Н., Малютин Н.В. и др. – М.: Изд-во «Радио и связь», 2003. – 156 с.
- Лазарев Д. В. Использование макромоделей составных частей при расчетах надежности РЭА. / Лазарев Д. В., Жаднов В. В., Пименов А. А. // Современные проблемы радиоэлектроники: Сб. научн. тр. - Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2004. - с. 528-530.
- Лазарев Д. В. Макромодели надежности компонентов РЭА / Жаднов В. В., Лазарев Д. В. // Электромагнитная совместимость и проектирование электронных средств: Сб. научных трудов / Под ред. Л.Н. Кечиева. – М.: МИЭМ, 2004. - с. 81-92.
- Лазарев Д. В. Применение методов макромоделирования при оценке надежности радиоэлектронной аппаратуры / Жаднов В.В., Лазарев Д.В., Пименов А.А. // Радиовысотометрия – 2004 : Сб. научных трудов / Под ред. А.А. Иофина, Л.И. Пономарёва. – Екатеринбург: Изд-во «АМБ», 2004. – с. 230 – 234.