

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ОТКАЗОВ ЭРИ ЗАРУБЕЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ РЕЖИМА ОЖИДАНИЯ (ХРАНЕНИЯ)

Гриненко А.П., Жаднов В.В., Кофанов Ю.Н., Малютин Н.В., Полесский С.Н.
(МИЭМ, ИГАС)

При расчете надежности радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), которая в эксплуатации основную часть времени находится в режиме *ожидания (хранения)* в обесточенном состоянии с периодическим контролем работоспособности, в соответствии с рекомендациями, приведенными в [1], следует рассчитывать интенсивность отказов электрорадиоизделий (ЭРИ) по моделям, которые отличаются от моделей *эксплуатационной* интенсивности отказов. Так, для ЭРИ отечественного производства в [1] приведена математическая модель вида:

$$\lambda_{ЭХ} = \lambda_{Э}(\lambda_{ХЭЭ}) \cdot \prod_{i=1}^n K_i, \quad (1)$$

где $\lambda_{Э}(\lambda_{ХЭЭ})$ - интенсивность отказов типа (группы) ЭРИ по результатам испытаний изделий на сохраняемость в упаковках заводов-изготовителей; K_i - коэффициенты модели; n - количество коэффициентов.

Однако, широкое применение в современной аппаратуре ЭРИ зарубежного производства (или их отечественных аналогов) создает множество проблем при расчете надежности. Главной среди них, несомненно, является отсутствие математических моделей (в т.ч. и численных значений коэффициентов) интенсивности отказов ЭРИ в режиме *ожидания (хранения)* не только для ЭРИ зарубежного производства (см., например, [2]), но даже для их отечественных аналогов [3].

Для решения этой проблемы был разработан метод идентификации характеристик надежности ЭРИ для режима *ожидания (хранения)*. Метод позволяет синтезировать математическую модель интенсивности отказов ЭРИ в режиме *ожидания (хранения)* в аналитическом виде и идентифицировать численные значения ее коэффициентов [4].

Синтез математической модели интенсивности отказов ЭРИ режиме *ожидания (хранения)* основан на использовании принципа перестановочной двойственности, который впервые был обоснован А.А. Пистолькорсом в 1944 году в следующей формулировке:

Если известно полное решение какой-либо задачи, то перестановка типа или вида позволяет автоматически получить решение двойственной (дуальной) задачи, в которой конфигурация воздействий повторяет конфигурацию воздействий в исходном процессе и наоборот, при одновременном учете параметров составляющих моделей [5].

Обобщенная математическая модель *эксплуатационной* интенсивности отказов ЭРИ отечественного производства, приведенная в [1] имеет следующий вид:

$$\lambda_3 = \lambda_{\text{б}}(\lambda_{\text{бсз}}) \cdot \prod_{i=1}^n K_i, \quad (2)$$

где $\lambda_{\text{б}}(\lambda_{\text{бсз}})$ - базовая интенсивность отказов типа (группы) ЭРИ; K_i - коэффициенты модели; n - количество коэффициентов.

Легко заметить, что выражения (1) и (2) идентичны для типа ЭРИ с точностью до поправочных коэффициентов K_i , а для групп - с точностью до поправочных коэффициентов K_i , $\lambda_{\text{хсз}}$ и $\lambda_{\text{бсз}}$. Другими словами, модели (1) и (2) служат для расчета одной и той же характеристики – интенсивности отказов, только в разных режимах - в режиме *ожидания (хранения)* и в режиме *эксплуатации*.

Вспользуемся принципом двойственности для синтеза математической модели эксплуатационной интенсивности отказов ЭРИ в режиме *ожидания (хранения)* в аналитическом виде. В [2] приведена следующая математическая модель *эксплуатационной* интенсивности отказов ЭРИ зарубежного производства:

$$\lambda_{\text{р}} = \lambda_{\text{б}} \prod_{i=1}^n \pi_i, \quad (3)$$

где $\lambda_{\text{б}}$ - базовая интенсивность отказов группы ЭРИ; π_i - коэффициенты модели; n - количество коэффициентов.

Легко заметить, что (2) и (3) полностью идентичны, так как составляющие части математических моделей тождественны:

- $\lambda_{\text{б}}$ и $\lambda_{\text{бсз}}$;
- π_i и K_i (с точностью до коэффициентов модели конкретного класса ЭРИ).

В соответствии с принципом двойственности, произведение правых частей (2) и (3) должно быть равно произведению левых частей (произведению $\lambda_{\text{р}}$ и λ_3).

Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что математическая модель расчета интенсивности отказов ЭРИ зарубежного производства в режиме *ожидания (хранения)* будет тождественна (1). Таким образом, математическая модель интенсивности отказов ЭРИ зарубежного производства в режиме *ожидания (хранения)* может быть представлена в виде:

$$\lambda_{\text{рх}} = \lambda_{\text{хб}}(\lambda_{\text{б}}) \prod_{i=1}^n \pi_i, \quad (4)$$

где $\lambda_{\text{хб}}$ - базовая интенсивность отказов типа (группы) ЭРИ в режиме *ожидания (хранения)*; π_i - коэффициенты модели; n - количество коэффициентов.

Идентификацию численных значений коэффициентов синтезированной математической модели (4) рассмотрим на примере класса ЭРИ «Resisters» [2]. Для класса «Резисторы» в [1] приведена следующая математическая модель интенсивности отказов в режиме *ожидания (хранения)*:

$$\lambda_{zx} = \lambda_{\bar{b}}(\lambda_{xsz}) K_x \cdot K_{yca} \cdot K_{tx} \cdot K_{np}(K_z) \quad (5)$$

Найдем значения коэффициентов математической модели (4) интенсивности отказов класса «Resisters» [2] в режиме *ожидания (хранения)*, исходя из принципа двойственности. Очевидно, что: $\lambda_{\bar{b}}(\lambda_{xsz})$ и $\lambda_{xb}(\lambda_b)$; K_{np} и π_Q ; K_z и π_E , а также K_{tx} и π_T являются тождественно равными, а $K_{yca} = \pi_Q$. Значение коэффициента хранения π_X вычисляется по значениям K_x на основе соотношения:

$$\pi_X = \frac{\sum_{i=1}^N K_{xi}}{N} \quad (6)$$

N - количество групп в классе «Резисторы»; K_x - коэффициент хранения для i -той группы резисторов.

Аналогично могут быть получены и математические модели, и численные значения коэффициентов отечественных аналогов зарубежных ЭРИ. Покажем это на примере класса «Аналоги зарубежных резисторов». Для этого класса в [3] приведена следующая математическая модель расчета *эксплуатационной* интенсивности отказов:

$$\lambda_z = \lambda_B \cdot P_T \cdot P_P \cdot P_S \cdot P_E \cdot P_Q \quad (7)$$

Сравнение модели (7) и модели *эксплуатационной* интенсивности отказов, приведенной в [1] для класса «Резисторы», показывает, что они тождественны с точностью до коэффициентов K_i и P_i .

В соответствии с (4), математическая модель интенсивности отказов в режиме *ожидания (хранения)* будет иметь вид:

$$\lambda_{zx} = \lambda_B(\lambda_{BX}) \cdot P_X \cdot P_{yca} \cdot P_T \cdot P_Q(P_E) \quad (8)$$

Найдем значения коэффициентов модели (8):

$$\begin{aligned} \lambda_{\bar{b}}(\lambda_{xsz}) &\rightarrow \lambda_B(\lambda_{BX}); K_x \rightarrow P_X = \frac{\sum_{i=1}^{12} K_{xi}}{12} \approx 0,0118 \text{ [отн. ед.]} \\ K_{yca} &\rightarrow P_{yca}; K_{tx} \rightarrow P_T \\ K_{np} &\rightarrow P_Q; K_z \rightarrow P_E \end{aligned}$$

Для оценки погрешности метода на основе данных, приведенных в [1], были синтезированы модели, идентифицированы значения коэффициентов и проведены расчеты интенсивности отказов в режиме *ожидания (хранения)* ЭРИ различных классов, типы которых были взяты из [6]. Сравнение численных значений коэффициентов моделей и интенсивностей отказов ЭРИ в режиме *ожидания (хранения)*, полученных с помощью вышеизложенного метода и точных значений, приведенных в [6], показало, что относительная погрешность составляет менее 10%.

Метод идентификации численных значений коэффициентов математических моделей интенсивности отказов ЭРИ в режиме *ожидания (хранения)* программно

реализован в подсистеме АСОНИКА-К [7] и включен в состав модуля «Интерфейс администратора базы данных» (см. рис. 1). С его помощью была проведена идентификация коэффициентов математических моделей интенсивности отказов в режиме *ожидания (хранения)* в объеме, полностью соответствующем [2] и [3], а также более чем для 3000 типов ЭРИ зарубежного производства (в основном, интегральных микросхем). Математические модели и численные значения коэффициентов занесены в Справочную часть базы данных подсистемы АСОНИКА-К и проведено их тестирование.

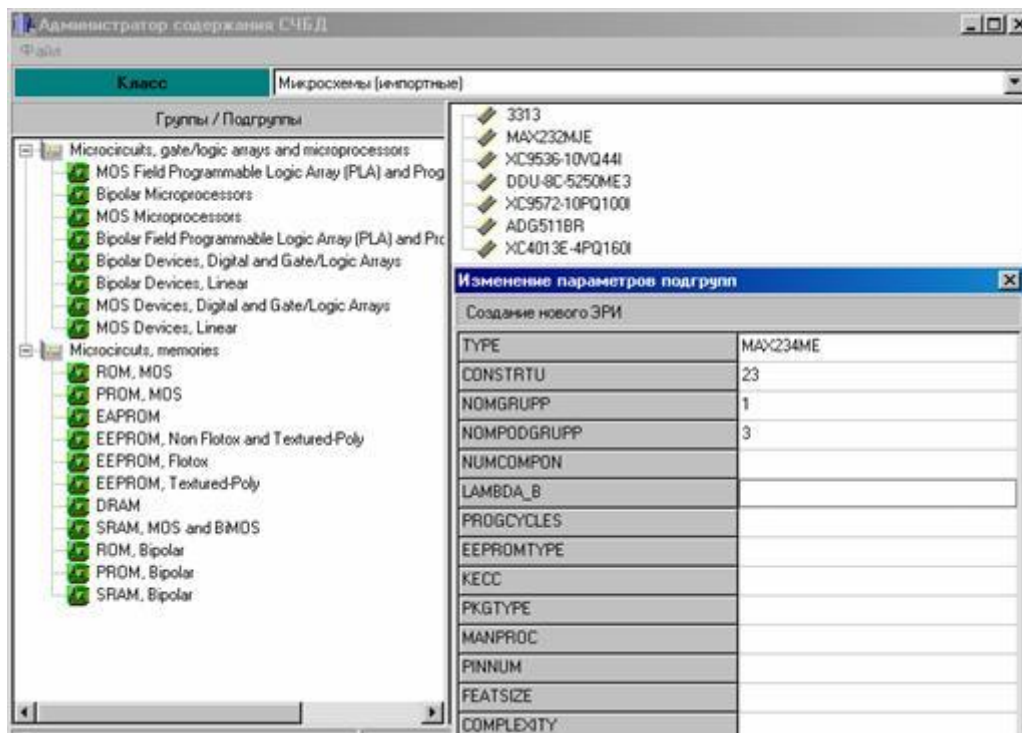


Рис. 1. Окно Интерфейса администратора базы данных

Таким образом, на сегодняшний день только подсистема АСОНИКА-К предоставляет возможность проведения расчетов надежности РЭА, которая в эксплуатации основную часть времени находится в режиме *ожидания (хранения)* в обесточенном состоянии с периодическим контролем работоспособности, и в состав которой входят не только отечественные ЭРИ, но и ЭРИ зарубежного производства и (или) их отечественные аналоги.

Список литературы

1. Надежность ЭРИ: Справочник // С.Ф. Прытков, В.М. Горбачева, А.А. Борисов и др. / Науч. рук. С.Ф. Прытков. – М.: 22 ЦНИИИ МО РФ, 2002. – 574 с.
2. MIL-HDBK-217. Reliability prediction of electronic equipment.
3. Надежность аналогов ЭРИ зарубежного производства: Справочник // С.Ф. Прытков, В.М. Горбачева, А.А. Борисов и др. / Науч. рук. С.Ф. Прытков. – М.: 22 ЦНИИИ МО РФ, 2002. – 38 с.
4. Полесский С.Н. Метод расчета показателей сохраняемости ЭРИ зарубежного производства / Науч. рук. Жаднов В.В. // Научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов МИЭМ: Тезисы докладов. – М.: МИЭМ, 2003. – с.182-185.

5. Баскаков С.И. Основы электродинамики. М.: Высшая школа, -1992. – 416 с.
6. Надежность ЭРИ: Справочник // С.Ф. Прытков, В.М. Горбачева, А.А. Борисов и др. / Науч. рук. С.Ф. Прытков. – М.: 22 ЦНИИИ МО РФ, 2000. – 508 с.
7. *http: // www.asonika-k.ru*

**Сетевой электронный научный журнал "СИСТЕМОТЕХНИКА", № 1,
2003 г.**