

выступают удельные собственные (базовые) интенсивности отказов СЧ и определяются выражением:

$$\omega_{cvi} = \frac{\lambda_{bcvi}}{\lambda_b} \text{ и } \sum_i \omega_{cvi} = 1.$$

Третий метод сводится к построению двух квазицилиндрических поверхностей – верхней и нижней границы изменения интенсивности отказов изделия.

Полученная таким образом математическая модель эксплуатационной интенсивности отказов составных частей, позволяет, в отличие от известных, получать характеристики надёжности составных частей с учётом условий эксплуатации, температуры окружающей среды и уровня электрической нагрузки.

Также существует проблема агрегации параметров макромодели надёжности при известных значениях параметров макромоделей составных частей. Например, агрегированные тепловые параметры макромодели можно оценить на основе следующих соотношений:

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^N b_{1i}}{N} \text{ и } b_2 = \frac{\sum_{i=1}^N b_{2i}}{N},$$

где  $N$  – число составных частей.

Методика идентификации и агрегации параметров математических моделей, основана на применении программного комплекса АСОНИКА-К для моделирования составных частей.

Методика синтеза макромоделей составных частей используется в отделе надёжности ФГУП «НИИ АА им. акад. В. С. Семенихина» при расчёте надёжности АСУ специального назначения.

## СТРУКТУРНО-РЕЗЕРВИРОВАННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ИХ ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ

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

Structural Reservation Of Technical Systems And Their Parameters Of Reliability  
D. Lazarev, V. Jadnov

Program complex АСОНИКА-К includes calculation product reliability system. It allows to receive non-failure operation parameter values, i.e. non-failure operation probability and average between failures and complex parameters, such as: readiness factor and with the help of the system operative readiness. It's possible to calculate 11 types of reserve groups.

В программный комплекс АСОНИКА-К входит система расчёта показателей надёжности изделий. Она позволяет получить значения показателей безотказности – вероятность безотказной работы и среднее время наработки на отказ и комплексные показатели, такие, как коэффициент готовности и коэффициент оперативной готовности, рассчитанные для сложных систем, как восстанавливаемых, так невосстанавливаемых, схемы расчёта надежности которых могут представлять собой сложные древовидные иерархические структуры. Система позволяет рассчитывать одиннадцать типов резервных групп, а также четыре вида полноты контроля, который может быть различным для каждой группы.

Избыточность – дополнительные средства или возможности, сверхминимально необходимые для выполнения объектом заданных функций.

Резервирование – метод повышения надежности объекта введением дополнительных элементов и функциональных возможностей, сверхминимально необходимых для нормального выполнения объектом заданных функций.

Структурное резервирование – метод повышения надежности объекта, предусматривающий использование избыточных структурных элементов.

Временное резервирование – метод повышения надежности объекта, предусматривающий использование избыточного времени.

Информационное резервирование – метод повышения надежности объекта, предусматривающий использование избыточной информации.

Функциональное резервирование – метод повышения надежности объекта, предусматривающий использование способности элементов выполнять дополнительные функции.

Нагрузочное резервирование – метод повышения надежности объекта, предусматривающий использование избыточности по его способности к восприятию нагрузок.

Данная работа, в первую очередь, касается структурного резервирования технических систем.

Практика повышения надежности технических систем предполагает широкое использование резервирования. При этом используются системы с различными видами структурного и других видов резервирования: нагруженный (включенный) резерв; облегченный (выключенный) резерв; скользящее (с условием) резервирование; различные мажоритарные соединения; резервирование с управляющей заменой; резервирование с устройством управления и многие другие.

В программном комплексе расчета и анализа надежности радиоэлектронной аппаратуры АСОНИКА-К реализованы наиболее распространенные виды резерва, в том числе все перечисленные выше.

При оценке надежности сильнопривлекательных с точки зрения структурности и функциональности технических систем применение автоматизированных систем расчета и анализа надежности становится важным вопросом.

В предположении независимости элементов, входящих в схему расчета надежности, каждому такому элементу соответствует экспоненциальное распределение вероятности безотказной работы:

$$P(t_0) = e^{-\lambda_i t_0}, \quad (1)$$

где  $P(t_0)$  – вероятность безотказной работы  $i$ -го элемента за наработку  $t_0$ ;  $\lambda_i$  – эксплуатационная интенсивность отказов  $i$ -го элемента;  $t_0$  – наработка  $i$ -го элемента.

При этом другой показатель безотказности: средняя наработка до отказа (в случае невосстанавливаемого элемента) для каждого элемента равна:

$$T = \frac{1}{\lambda_i}, \quad (2)$$

где  $T$  – средняя наработка до отказа (в случае невосстанавливаемого элемента)  $i$ -го элемента;  $\lambda_i$  – эксплуатационная интенсивность отказов  $i$ -го элемента.

Однако, для группы элементов как совокупности такое предположение не подходит, т. е. совокупность элементов системы уже не характеризуется экспоненциальной функцией распределения вероятности безотказной работы. Поэтому при расчете схем надежности, включающим резервные группы, пользуются только двумя показателями безотказности:

вероятностью безотказной работы за определенную наработку  $t_0$  для каждого  $i$ -го элемента системы  $P(t_0)$  и вероятностью отказа  $i$ -го элемента за время  $t_0$   $Q(t_0)$ .

Вероятность отказа  $i$ -го элемента за время  $t_0$   $Q(t_0)$  равна:

$$Q(t_0) = 1 - P(t_0) = 1 - e^{-\lambda t_0} . \quad (3)$$

В общем случае точное значение средней наработки до отказа всей резервной группы и/или простого соединения элементов можно вычислить в виде интеграла:

$$T = \int_0^{\infty} P(t) dt , \quad (4)$$

где  $P(t)$  – вероятность безотказной работы всей резервной группы и/или простого соединения элементов за время  $t$ .

Для примера рассмотрим систему с нагруженным резервом из независимых элементов с простейшим потоком отказов, состоящую из двух резервных групп по два элемента в каждой резервной группе. В этой системе в каждой резервной группе вместе с основным элементом (модулем) включен и параллельно работает один резервный элемент.

На рис. 1 представлен вид рассматриваемой схемы расчета надежности.

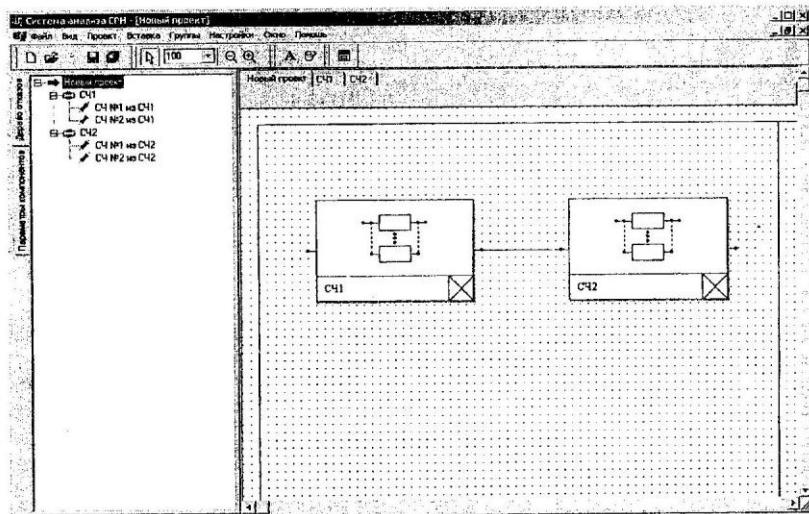


Рис. 1. Схема расчета надежности, состоящая из двух групп нагруженного резерва

На рис. 2 представлено соединение элементов в каждой группе нагруженного резерва.

В данном случае для рассматриваемой системы расчета надежности вероятность безотказной работы всей схемы равна:

$$P(t) = (1 - Q_1(t)) \cdot Q_2(t) \cdot (1 - Q_3(t)) \cdot Q_4(t), \quad (5)$$

где  $P(t)$  – вероятность безотказной работы всей схемы за время  $t$ ;  $Q_1(t)$  – вероятность отказа СЧ №1 из первой резервной группы за время  $t$ , рассчитываемая по (3);  $Q_2(t)$  – вероятность отказа СЧ №2 из первой резервной группы за время  $t$ , рассчитываемая по (3);  $Q_3(t)$  – вероятность отказа СЧ №1 из второй резервной группы за время  $t$ , рассчитываемая по (3);  $Q_4(t)$  – вероятность отказа СЧ №2 из второй резервной группы за время  $t$ , рассчитываемая по (3).

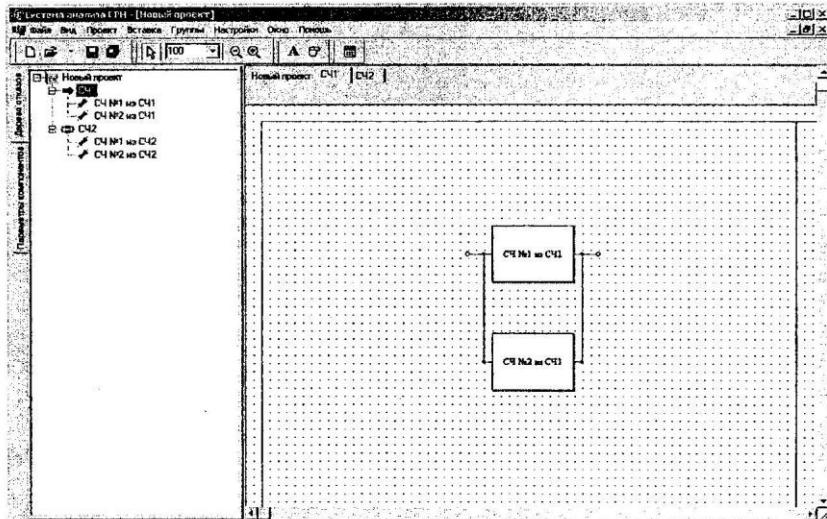


Рис. 2. Соединение элементов (составных частей СЧ) в каждой группе (первой) нагруженного резерва

Для получения второго основного показателя безотказности: средней наработки до отказа необходимо воспользоваться численными методами и взять интеграл (4).

Для сравнения был произведен расчет средней наработки до отказа данной схемы с помощью численных методов, заложенных в системы MathCad 2000 Pro. Погрешность составила не более 5%.

Многочисленные расчеты средней наработки до отказа различных схем расчета надежности, включающим разнообразные резервные группы, реализованные в программном комплексе расчета и анализа надежности АСОНИКА-К подтвердили не выход за допустимую инженерную погрешность расчетов.

#### 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.
- Козлов Б. А., Ушаков И. А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. М., «Советское радио», 1975, 472 с.