

Н.В. СЕСПЕДЕС ГАРСИЯ

## **К ВОПРОСУ О КОЭФФИЦИЕНТЕ ВАРИАЦИИ НАРАБОТКИ ДО ОТКАЗА СИСТЕМЫ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ СТРУКТУРОЙ ЭЛЕМЕНТОВ**

***Анотація.** Розглянуті питання статистичного моделювання надійності невідновлювальної системи з послідовною структурою елементів на основі використання генераторів випадкових чисел, що мають  $DN$ -розподіл. Встановлено залежність величини коефіцієнта варіації наробітку до відмови системи від кількості її елементів.*

***Ключові слова:** коефіцієнт варіації наробітку до відмови системи, параметри  $DN$ -розподілу, статистичне моделювання.*

***Аннотация.** Рассмотрены вопросы статистического моделирования надежности невосстанавливаемой системы с последовательной структурой элементов на основе генераторов случайных чисел, имеющих  $DN$ -распределение. Установлена зависимость величины коэффициента вариации наработки до отказа системы от количества ее элементов.*

***Ключевые слова:** коэффициент вариации наработки до отказа системы, параметры  $DN$ -распределения, статистическое моделирование.*

***Abstract.** The questions of statistical modeling reliability of nonrecoverable system with consecutive structure elements based on random number generators with  $DN$ -distribution are considered. The dependence of the variation coefficient operating time to failure of the elements amount is determined.*

***Keywords:** variation coefficient operating time to failure of the system, the parameters of  $DN$ -distribution, statistical modeling.*

### **1. Введение**

При решении разнообразных задач по оценке надежности систем вероятностно-физическими методами [1] важнейшей априорной информацией, позволяющей эффективно их решать, является информация о коэффициенте вариации распределения наработки до отказа.

Коэффициент вариации наработки до отказа (на отказ) является обобщенным параметром теоретического закона распределения отказов и определяет его вид и форму. Величина коэффициента вариации – параметра формы  $DN$ -распределения сильно влияет на точность прогнозных оценок показателей надежности систем. Исследованию этой характеристики системы посвящена данная работа.

### **2. Расчет коэффициента вариации наработки до отказа ВФ-методом**

Как известно, экспериментальная оценка коэффициента вариации распределения наработки до отказа невосстанавливаемых систем требует статистических данных гораздо большего объема, чем для оценки средних показателей надежности, и на практике не проводится. В связи с высокой собственной надежностью элементов системы (изделий электронной техники) практически невозможно получить достаточно репрезентативную выборку отказов систем в нормальном режиме эксплуатации, на основании которой можно было бы определить коэффициент вариации. Поэтому чаще всего коэффициент вариации наработки до отказа системы оценивается расчетным путем, исходя из априорной информации о коэффициентах вариации элементов. С этой целью в [1] сформулированы следующие утверждения.

**Утверждение 1.** При отсутствии избыточности (резервирования) коэффициент вариации наработки до отказа невосстанавливаемых объектов, состоящих из совокупности последовательно соединенных (в смысле надежности) элементов, совпадает с коэффициентом вариации наработки до отказа этих элементов.

**Утверждение 2.** Коэффициент вариации наработки на отказ восстанавливаемого объекта остается тем же самым (как и у невосстанавливаемого объекта), поскольку обобщенный физический процесс деградации объекта зависит только от количества и типов задействованных элементов. При этом предполагается, что отказавшие элементы заменяются на идентичные и сохраняется структура объекта.

Для невосстанавливаемой системы с последовательной структурой элементов в [1] приведена формула, позволяющая оценить величину коэффициента вариации наработки до отказа системы ВФ-методом.

$$V_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (n_i V_i^2 / T_i^2)}{\sum_{i=1}^N \frac{n_i}{T_i^2}}}, \quad (1)$$

где  $T_i$  – значение средней наработки до отказа элемента  $i$ -го типа,  $V_i$  – значение коэффициента вариации наработки до отказа элемента  $i$ -го типа,  $n_i$  – количество элементов  $i$ -го типа,  $N$  – количество типов элементов.

Рассмотрим случай, когда система состоит из  $n_i$  одного типа элементов со средней наработкой до отказа  $T_i$  и коэффициентом вариации  $V_i$ . После несложных преобразований вычислим коэффициент вариации наработки до отказа системы  $V_c$  по формуле (1).

$$V_c = \sqrt{\frac{n_i V_i^2 / T_i^2}{\frac{n_i}{T_i^2}}} = \sqrt{V_i^2} = V_i. \quad (2)$$

Нетрудно видеть, что расчетная величина  $V_c$  постоянна, равна  $V_i$  и не зависит от надежности элементов и их количества.

В настоящей работе осуществлена попытка проверки согласования расчетной оценки коэффициента вариации наработки до отказа последовательной невосстанавливаемой системы с оценкой, полученной по результатам статистического моделирования методом «слабого звена». Статистическое моделирование системы осуществлялось с использованием генератора случайных чисел, распределенных в соответствии с функцией  $DN$  - распределения наработки до отказа [1, 2].

### 3. Моделирование надежности последовательных невосстанавливаемых систем

Для исследования коэффициента вариации наработки до отказа систем с последовательной структурой элементов проводилось моделирование с различными априорными показателями надежности элементов ( $T = 1000; 2000; 3000; 4000; 5000$  ч и  $V = 0,5; 0,75; 0,9; 1; 1,1$ ) и различным количеством элементов в системе ( $n = 2; 3; 4; 5; 10; 20; 50$  шт.).

Для исследования коэффициента вариации наработки до отказа системы использовался метод моделирования по строкам матрицы состояний системы [1]. При этом формировались репрезентативные выборки объемом  $N = 500$ .

В процессе моделирования производились следующие вычисления.

1. Определялись выборочные значения средней наработки до отказа  $T_n$  и коэффициента вариации наработки элементов  $V_n$  по формулам:

$$\tilde{T}_n = \sum_{i=1}^N t_{ni} / N, \quad \tilde{V}_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (t_{ni} - \tilde{T}_n)^2}{N-1}} / \tilde{T}_n. \quad (3)$$

2. С использованием результатов (3) определялись выборочные значения средней наработки до отказа системы и коэффициента вариации наработки до отказа ВФ-методом:

$$\tilde{T}_c = 1 / \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\tilde{T}_{ni}^2}}, \quad \tilde{V}_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\tilde{V}_{ni}^2 / \tilde{T}_{ni}^2)}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\tilde{T}_{ni}^2}}}. \quad (4)$$

3. По результатам моделирования методом «слабого звена» вычислялись значения средней наработки до отказа системы и коэффициента вариации наработки до отказа:

$$T_c = \sum_{i=1}^N t_{i \min} / N, \quad V_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (t_{i \min} - T_c)^2}{N-1}} / T_c. \quad (5)$$

По результатам моделирования строились графики зависимостей коэффициентов вариации, полученных в результате расчета ВФ-методом  $\tilde{V}_c$  и путем моделирования методом «слабого звена»  $V_c$ , в зависимости от количества элементов в системе (рис. 1–6).

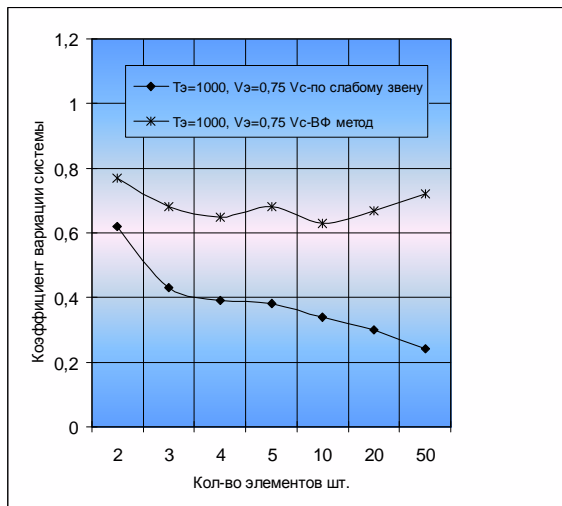


Рис. 1. Зависимость  $V_c$  от  $n$  при  $T_i = 1000$  ч и  $V_i = 0,75$

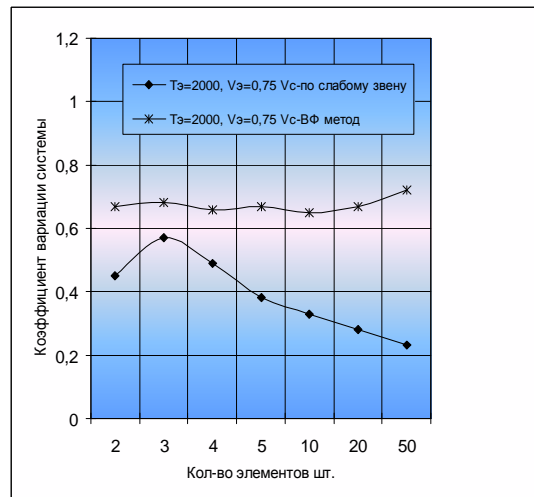


Рис. 2. Зависимость  $V_c$  от  $n$  при  $T_i = 2000$  ч и  $V_i = 0,75$

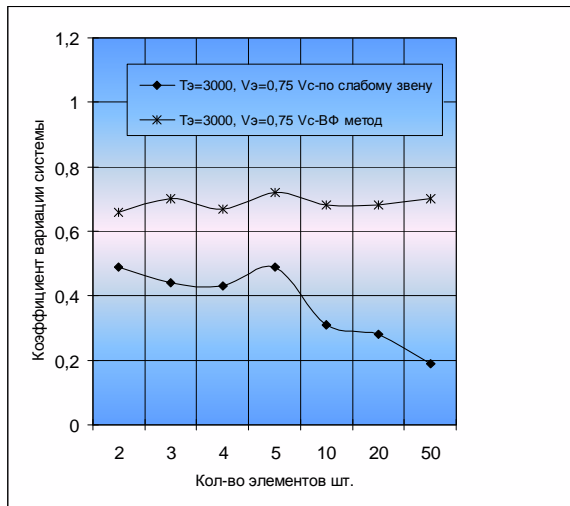


Рис. 3. Зависимость  $V_c$  от  $n$  при  $T_i = 3000$  ч и  $V_i = 0,75$

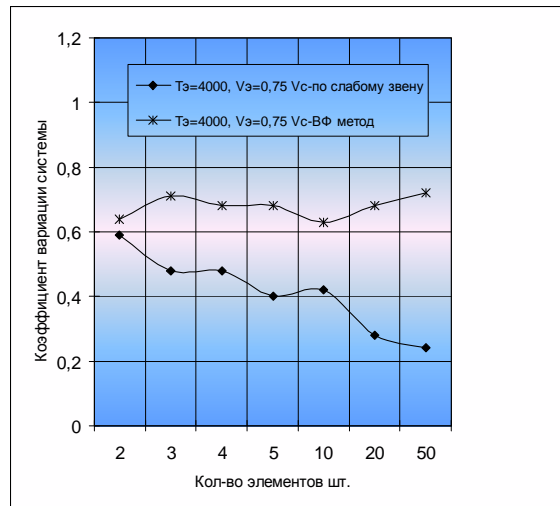


Рис. 4. Зависимость  $V_c$  от  $n$  при  $T_i = 4000$  ч и  $V_i = 0,75$

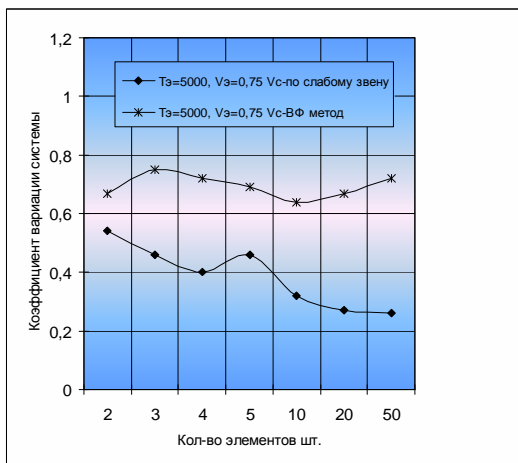


Рис. 5. Зависимость  $V_c$  от  $n$  при  $T_i = 5000$  ч и  $V_i = 0,75$

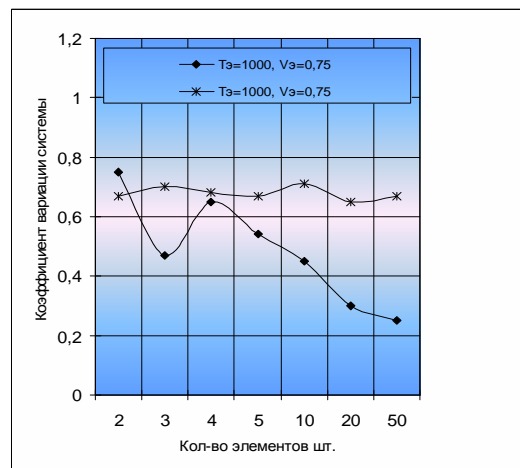


Рис. 6. Зависимость  $V_c$  от  $n$  при  $T_i = 1000$  ч и  $V_i = 0,75$   
(формирование выборок методом Монте-Карло)

Нетрудно видеть, что с увеличением количества элементов системы коэффициент вариации наработки до отказа существенно уменьшается. Данное явление подтверждено также результатами статистического моделирования аналогичных систем методом Монте-Карло (рис. 6) с использованием статистики отказов, хорошо описываемой  $DN$ -распределением.

#### 4. Выводы

Результаты моделирования системы с последовательной структурой элементов не подтвердили правомерность утверждения 1. В ходе статистических экспериментов при увеличении количества элементов в системе наблюдался отчетливый тренд величины коэффициента вариации наработки до отказа системы в сторону уменьшения.

Анализируя полученные результаты моделирования, можно сделать очень важный вывод: при большом количестве элементов различия в надежности однотипных систем нивелируются. Данный вывод находит свое подтверждение результатами длительной эксплуатации большого количества сложных микропроцессоров ПЭВМ, содержащих более 1

млн элементов каждый. Все микропроцессоры высоконадежны, разброс по надежности от образца к образцу не обнаруживается, изделия с низкой надежностью отсутствуют. Все это свидетельствует о низком коэффициенте вариации наработки до отказа данных невосстанавливаемых микроэлектронных систем.

С целью повышения адекватности расчетов надежности последовательных систем ВФ-методом предлагается аппроксимировать функцию изменения коэффициента вариации наработки до отказа системы от количества элементов системы зависимостью

$$V_c = \frac{V_o}{\ln(n)} \text{ при } n \geq 4. \quad (6)$$

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стрельников В.П. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем / В.П. Стрельников, А.В. Федухин. – К.: Логос, 2002. – 486 с.
2. Сеспедес Гарсия Н.В. Статистическое моделирование надежности системы с последовательной структурой элементов / Н.В. Сеспедес Гарсия // Математические машины и системы. – 1999. – № 2. – С. 123 – 127.

*Стаття надійшла до редакції 13.07.2012*