

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ВОССТАНАВЛИВАЕМОЙ РЕЗЕРВИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ ТРЕНДА ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ

Abstract: The questions of statistical modelling of reliability of restored reserved system are considered in view of a trend of parameters of reliability of components on the basis of generators of the random numbers having DN - distribution. The algorithm of modelling of reliability and examples of modelling of reliability of systems for the various initial data on parameters of reliability of components is offered.

Key words: statistical modelling, "cold" reservation, reliability of restored system.

Анотація: Розглянуті питання статистичного моделювання надійності відновлювальної резервованої системи з урахуванням тренда параметрів надійності складових частин на основі використання генераторів випадкових чисел, що мають DN -розподіл. Запропоновано алгоритм моделювання надійності та приклади моделювання надійності систем для різноманітних вихідних даних щодо показників надійності складових частин.

Ключеві слова: статистичне моделювання, «холодний» резерв, надійність відновлювальної системи.

Аннотация: Рассмотрены вопросы статистического моделирования надежности восстанавливаемой резервированной системы с учетом тренда параметров надежности составных частей на основе генераторов случайных чисел, имеющих DN -распределение. Предложены алгоритм моделирования надежности и примеры моделирования надежности систем для различных исходных данных на показатели надежности составных частей.

Ключевые слова: статистическое моделирование, «холодный» резерв, надежность восстанавливаемой системы.

1. Введение

В [1] были рассмотрены вопросы моделирования надежности восстанавливаемой системы с «холодным» резервом и ненадежным восстанавливающим органом (ВО). В рамках гипотезы о DN -распределении наработки до отказа (на отказ) [2, 3] средняя наработка на отказ восстанавливаемого объекта не является постоянной во времени величиной, а уменьшается с ростом суммарной наработки системы. Учет данного явления позволит получить более достоверные результаты моделирования надежности такого класса систем (рис. 1).

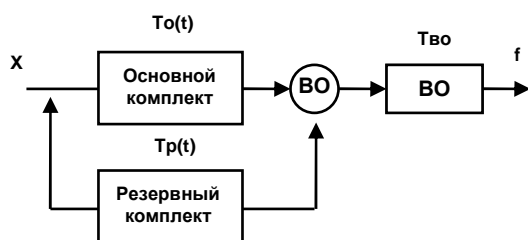


Рис. 1. Структурная схема восстанавливаемой резервированной системы с ненадежным ВО и трендом параметров надежности составных частей

2. Моделирование надежности системы

Алгоритм моделирования надежности восстанавливаемой резервированной системы с учетом тренда параметров надежности составных частей аналогичен [1], за исключением двух блоков, касающихся вычисления тренда средней наработки на отказ основного и резервного комплектов системы в процессе их виртуального функционирования (рис. 2).

Моделирование начинается с задания начальных параметров генераторов случайных

чисел, имеющих DN -распределение [4].

Работа генераторов случайных чисел начинается с генерации момента отказа восстанавливающего органа. Затем генерируются моменты отказа основного и резервного комплектов системы и время восстановления основного комплекта системы.

Если восстанавливающий орган исправен, а время восстановления основного комплекта меньше, чем наработка на отказ резервного комплекта, то отказа системы не происходит, и по окончании времени восстановления вновь подключается основной элемент, а резервный переводится в режим ожидания. При этом вычисляется суммарная наработка системы по формуле $t_{\Sigma i} = t_{\Sigma i-1} + t_{oi} + t_{ei}$ (где i – количество восстановлений системы). На момент суммарной наработки $t_{\Sigma i}$ ($t_{\Sigma i} \rangle T_o$) вычисляется средняя наработка на отказ основного комплекта, а на момент суммарной наработки $t_{\Sigma e} = \sum_{i=1}^M t_{ei}$ ($t_{\Sigma e} \rangle T_p$) вычисляется средняя наработка на отказ резервного комплекта системы по формуле [2, 3]

$$T(t_{\Sigma}) = T_y + (T - T_y) \exp \left[\frac{t_{\Sigma} - T}{T_{kp} - T} \ln(T - T_y)^{-1} \right], \quad (1)$$

где $T = \left(\sum_{i=1}^N n_i T_{oi}^{-2} \right)^{-1/2}$ – средняя наработка до отказа комплекта системы; T_{oi} – средняя наработка до отказа i -го типа элементов (составных частей), входящих в состав комплекта системы; n_i – количество i -го типа элементов (составных частей); N – количество типов элементов (составных частей), входящих в состав комплекта системы; $T_y = \left(\sum_{i=1}^N n_i T_{oi}^{-1} \right)^{-1}$ – установившееся значение средней наработки на отказ комплекта системы; $T_{kp} = \min \left\{ \frac{T_{oi}}{n_i} \right\} \cdot n_i / \pi$ – параметр, характеризующий надежность и количество наиболее критичных элементов системы, формирующих основной поток отказов; t_{Σ} – суммарная наработка комплекта системы.

Если для комплекта системы не известны характеристики T_{oi} , n_i и N , а имеется лишь общее значение средней наработки до отказа комплекта системы T , то можно использовать эмпирическую зависимость

$$T_y = 0,05 \cdot T. \quad (2)$$

Кроме того, исследованиями установлено, что основной поток отказов современной сложной электронной аппаратуры формируют такие объекты, как пайки, межсоединения многослойных печатных плат, точки ультразвуковой сварки и контакты разъемных соединений. Поэтому для вычисления T_{kp} используем значение средней наработки до отказа «контакта» $T_0 = 16 \cdot 10^5$ ч [2]. Откуда

$$T_{кр} = \frac{T_0}{\pi} = 5 \cdot 10^5 \text{ ч.} \quad (3)$$

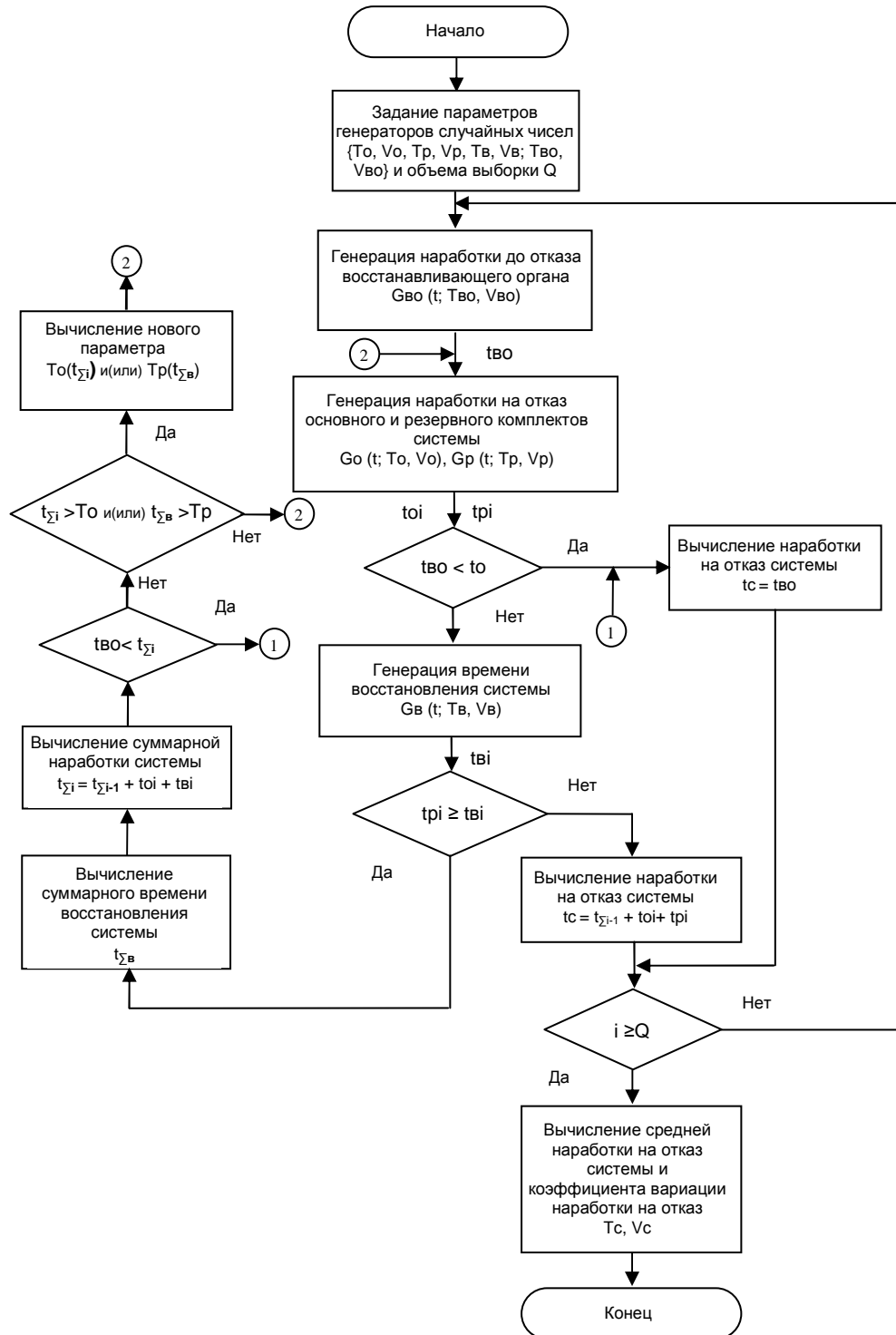


Рис. 2. Алгоритм моделирования надежности восстанавливаемой резервированной системы с учетом тренда параметров надежности составных частей

После подстановки в (1) выражений (2) и (3), получим формулу для приближенной оценки величины средней наработки на отказ комплекта системы в зависимости от времени его виртуального функционирования:

$$T(t_{\Sigma}) = T \left\{ 0,05 + 0,95 \exp \left[\frac{(t_{\Sigma} - T)}{(5 \cdot 10^5 - T)} \cdot 0,05 \ln(T)^{-1} \right] \right\}. \quad (4)$$

График зависимости (4) приведен на рис. 3. Так, для комплекта системы, имеющего среднюю наработку до отказа $T = 1000$ ч, на момент суммарной наработки $t_{\Sigma} = 500000$ ч (57 лет) средняя наработка на отказ комплекта $T(t_{\Sigma})$ уменьшится на 25% по отношению к T .

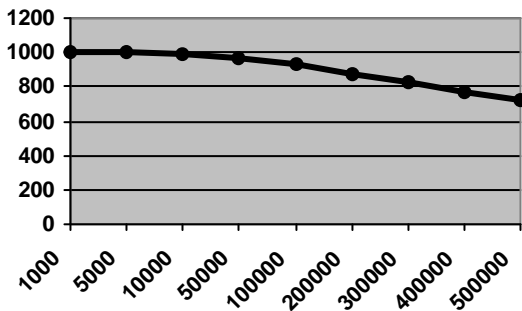


Рис. 3. Зависимость средней наработки на отказ комплекта системы от суммарной наработки

После вычисления по (4) новых значений параметров генераторов случайных чисел цикл моделирования повторяется снова. Отказ системы, как и в [1], возникает, если время восстановления основного комплекта больше, чем наработка на отказ резервного комплекта или отказывает ВО. В первом случае фиксируется отказ системы и вычисляется наработка на отказ системы по формуле

$t_c = t_{\Sigma i-1} + t_{oi} + t_{pi}$. Во втором случае в качестве наработки на отказ системы принимается наработка до отказа ВО (рис. 2). После проведения необходимого числа циклов моделирования (Q – объем выборки) вычисляются средняя наработка на отказ системы и коэффициент вариации наработки на отказ T_c и V_c .

3. Результаты моделирования надежности системы

В качестве примера рассмотрим моделирование восстанавливаемой системы [1], имеющей наработки до отказа основного и резервного комплектов, равные $T_o = T_p = 1000$ ч. Нарработка до отказа восстанавливающего органа $T_{\epsilon o}$ выбирается из ряда {5000, 10000, 50000, 100000} ч. Коэффициент вариации наработки до отказа системы и восстанавливающего органа равен $V_o = V_p = V_{\epsilon o} = 1$.

Таблица 1. Результаты моделирования надежности восстанавливаемой резервированной системы с ненадежным ВО и трендом параметров надежности составных частей

| Среднее время восстановления системы T_{ϵ} , ч | Средняя наработка на отказ системы \hat{T}_c и коэффициент вариации наработки на отказ системы \hat{V}_c при $T_o = T_p = 1000$ ч, $V_o = V_p = V_{\epsilon o} = 1$, $V_{\epsilon} = 0,75$ | | | | | | | |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------------|-------------|-----------------------------|-------------|-----------------------------|-------------|
| | $T_{\epsilon o} = 50000$ ч | | $T_{\epsilon o} = 100000$ ч | | $T_{\epsilon o} = 200000$ ч | | $T_{\epsilon o} = 300000$ ч | |
| | \hat{T}_c , ч | \hat{V}_c | \hat{T}_c , ч | \hat{V}_c | \hat{T}_c , ч | \hat{V}_c | \hat{T}_c , ч | \hat{V}_c |
| 24 | 35862 | 0,67 | 89899 | 0,89 | 195647 | 1,08 | 269962 | 1,02 |
| 48 | 32089 | 0,68 | 64995 | 0,72 | 157435 | 0,80 | 187522 | 0,97 |
| 72 | 31895 | 0,65 | 57529 | 1,00 | 77274 | 0,74 | 75936 | 0,81 |
| 96 | 25676 | 0,70 | 35068 | 0,61 | 43548 | 0,76 | 50177 | 0,76 |
| 120 | 18609 | 0,83 | 23217 | 0,81 | 31340 | 0,86 | 28443 | 0,88 |
| 144 | 16058 | 0,69 | 17592 | 1,10 | 18410 | 1,21 | 21102 | 1,02 |

Коэффициент вариации времени восстановления равен $V_g = 0,75$. Среднее время восстановления системы T_g выбирается из ряда {24, 48, 72, 96, 120, 144} ч.

Результаты моделирования надежности восстанавливаемой резервированной системы с учетом тренда параметров надежности составных частей приведены в табл. 1.

Графическая интерпретация результатов моделирования приведена на рис. 4.

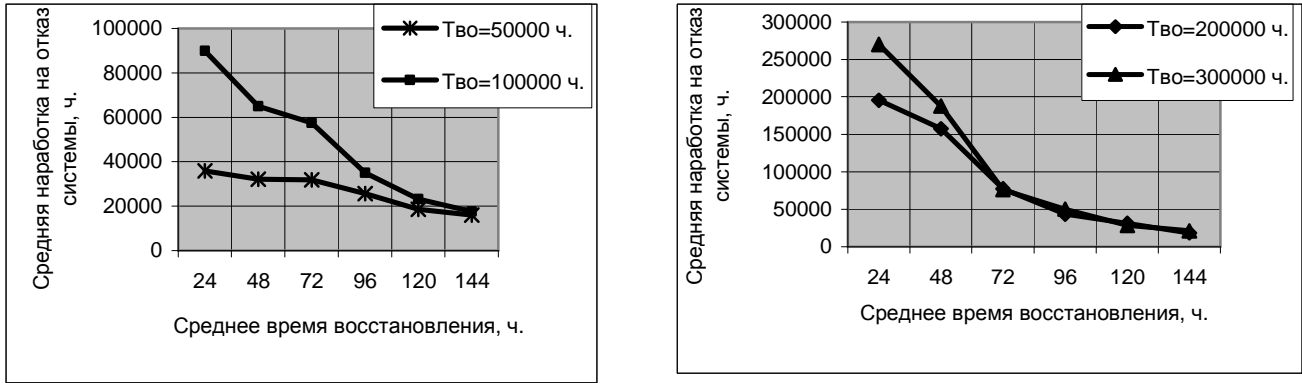


Рис. 4. Зависимость средней наработки на отказ системы от среднего времени восстановления и средней наработки до отказа ВО

Для анализа степени влияния тренда параметров надежности основного и резервного комплектов системы на надежность резервированной системы в целом в табл. 2 приведены результаты моделирования системы без учета этого явления [1].

Таблица 2. Результаты моделирования надежности восстанавливаемой резервированной системы с ненадежным ВО

| Среднее время восстановления системы T_g , ч | Средняя наработка на отказ системы \hat{T}_c и коэффициент вариации наработки на отказ системы \hat{V}_c при $T_o = T_p = 1000ч$, $V_o = V_p = V_{го} = 1$, $V_g = 0,75$ | | | | | | | |
|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------------|-------------|--------------------|-------------|--------------------|-------------|
| | $T_{го} = 50000ч$ | | $T_{го} = 100000ч$ | | $T_{го} = 200000ч$ | | $T_{го} = 300000ч$ | |
| | \hat{T}_c , ч | \hat{V}_c | \hat{T}_c , ч | \hat{V}_c | \hat{T}_c , ч | \hat{V}_c | \hat{T}_c , ч | \hat{V}_c |
| 24 | 40801 | 0,83 | 109225 | 0,81 | 204671 | 0,71 | 316153 | 1,16 |
| 48 | 38316 | 0,82 | 68178 | 0,65 | 154087 | 0,93 | 237691 | 0,89 |
| 72 | 35189 | 0,77 | 59114 | 1,04 | 77599 | 0,80 | 83744 | 0,94 |
| 96 | 26635 | 0,94 | 37322 | 0,99 | 44473 | 0,92 | 52353 | 0,85 |
| 120 | 25661 | 0,94 | 27333 | 0,71 | 32146 | 0,82 | 28579 | 0,77 |
| 144 | 20759 | 0,75 | 17824 | 0,89 | 20293 | 0,78 | 22867 | 0,89 |

Анализ результатов моделирования показал, что при учете тренда средней наработки на отказ комплектов системы в зависимости от их суммарной наработки отмечается снижение средней наработки на отказ восстанавливаемой резервированной системы приблизительно на 10%.

4. Выводы

1. В работе предложен метод моделирования надежности восстанавливаемой системы с «холодным» резервом, ненадежным ВО и учетом тренда параметров надежности составных частей

на основе использования генераторов случайных чисел, имеющих DN -распределение. Метод позволяет моделировать надежность такого класса систем при различных исходных данных на показатели надежности составных частей.

2. Учет тренда средней наработки на отказ комплектов системы во времени позволяет уточнить среднюю наработку на отказ восстанавливаемой резервированной системы на 10%.

3. При увеличении надежности ВО по отношению к средней наработке до отказа комплекта системы до двух порядков включительно ($T_{\text{во}} \leq 100000ч$) существенный рост надежности системы отмечается при значениях среднего времени восстановления $T_{\text{с}} \leq 96ч$. Далее увеличение надежности системы за счет роста надежности ВО является не эффективным.

4. При увеличении надежности ВО выше, чем на два порядка по отношению к средней наработке до отказа комплекта системы ($T_{\text{во}} \geq 100000ч$), рост надежности системы отмечается только при малых значениях среднего времени восстановления $T_{\text{с}} \leq 48ч$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федухин А.В., Сеспедес-Гарсия Н.В. Моделирование надежности восстанавливаемой системы с «холодным» резервом и ненадежным восстанавливающим органом // Математичні машини і системи. – 2007. – № 1. – С. 144–150.
2. Стрельников В.П., Федухин А.В. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем. – К.: Логос, 2002. – 486 с.
3. Погребинский С.Б., Стрельников В.П. Проектирование и надежность многопроцессорных ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1988. – 168 с.
4. Федухин А.В., Сеспедес-Гарсия Н.В. К вопросу о статистическом моделировании надежности // Математичні машини і системи. – 2006. – № 1. – С. 156–163.

Стаття надійшла до редакції 02.03.2007