

## МОДЕЛИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ВОССТАНАВЛИВАЕМОЙ СИСТЕМЫ С «ХОЛОДНЫМ» РЕЗЕРВОМ И НЕНАДЕЖНЫМ ВОССТАНАВЛИВАЮЩИМ ОРГАНОМ

**Abstract:** The questions of statistical modelling of reliability of restorable system with a "cold" reserve and unreliable restoring body are considered 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 restorable system.

**Аноація:** Розглянуті питання статистичного моделювання надійності відновлювальної системи з „холодним” резервом і ненадійним відновлюючим органом 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.

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

**Аннотация:** Рассмотрены вопросы статистического моделирования надежности восстанавливаемой системы с «холодным» резервом и ненадежным восстанавливающим органом 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 современных сложных системах все чаще встречается такое резервирование, когда все факторы, оказывающие наибольшее влияние на надежность резервированной системы, присутствуют одновременно и пренебречь ничем нельзя. Это параметры переключения на резерв, надежность переключателя, нагруженность резерва, параметры контроля основных и резервных комплектов системы. Часто эти факторы оказывают решающее влияние на надежность системы.

В [1] были рассмотрены вопросы моделирования надежности восстанавливаемой системы с «холодным» резервом.

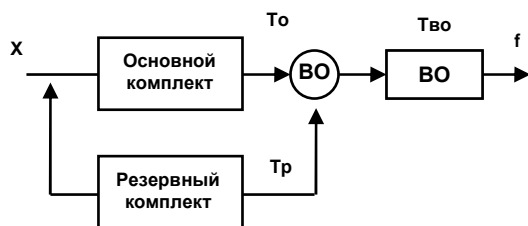


Рис. 1. Структурная схема восстанавливаемой системы с «холодным» резервом и ненадежным ВО

Там же были сформулированы ряд допущений, одним из которых является допущение 1 об абсолютной надежности восстанавливающего органа (ВО) [1].

С практической точки зрения не требует доказательств тот факт, что при высокой сложности контролируемой системы сам ВО становится также сложным, требует значительных технических ресурсов и, как следствие, образует свой собственный поток отказов, сильно влияющий на надежность системы в целом. На рис. 1 представлена

структурная схема восстанавливаемой системы с «холодным» резервом и ненадежным ВО, отличающаяся от рассмотренной ранее наличием дополнительного функционального блока ВО,

характеризуемого средней наработкой до отказа  $T_{eo}$  и коэффициентом вариации наработки до отказа  $V_{eo}$ .

## 2. Моделирование надежности системы

Введем следующие три допущения относительно восстанавливающего органа.

**Допущение 1.** Отказ ВО обнаруживается немедленно после его возникновения.

**Допущение 2.** Отказ ВО неизбежно приводит к отказу системы в целом.

**Допущение 3.** ВО является невозстанавливаемым объектом.

Алгоритм моделирования надежности восстанавливаемой системы с «холодным» резервом и ненадежным ВО приведен на рис. 2.

Моделирование начинается с задания начальных параметров генераторов случайных чисел, имеющих  $DN$ -распределение [2]:

первый генератор моделирует надежность основного комплекта системы и имеет параметры: средняя наработка до отказа  $T_o$  и коэффициент вариации наработки до отказа  $V_o$ ;

второй генератор моделирует надежность резервного комплекта системы и имеет параметры: средняя наработка до отказа  $T_p$  и коэффициент вариации наработки до отказа  $V_p$ ;

третий генератор моделирует надежность восстанавливающего органа и имеет параметры: средняя наработка до отказа  $T_{eo}$  и коэффициент вариации наработки до отказа  $V_{eo}$ ;

четвертый генератор моделирует продолжительность восстановления системы и имеет параметры: среднее время восстановления  $T_e$  и коэффициент вариации времени восстановления  $V_e$ .

Кроме того, задается объем получаемых экспериментальных данных о надежности системы – объем выборки  $Q$ .

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), и цикл моделирования повторяется снова.

Отказ системы возникает (рис. 3), 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.

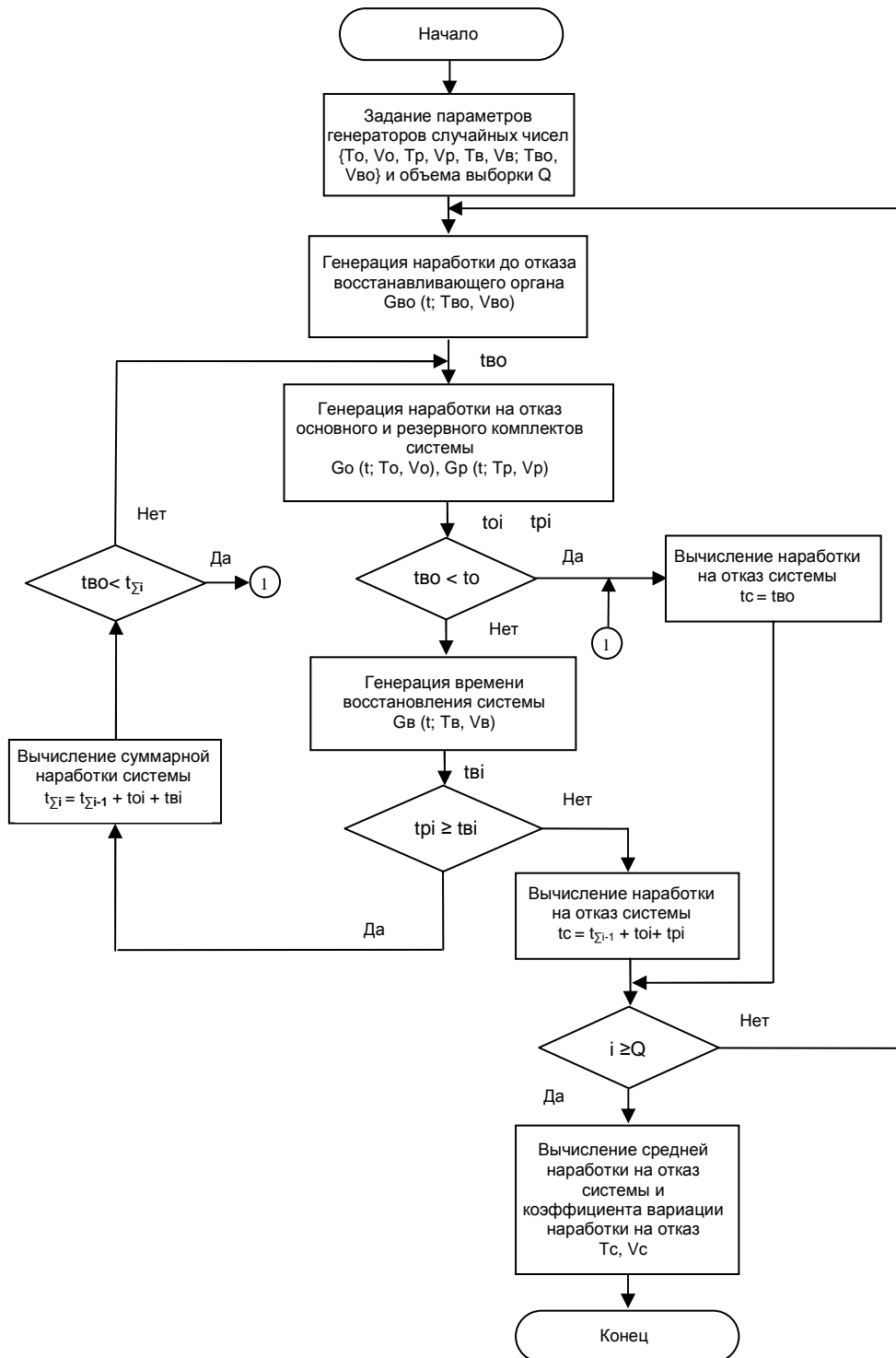


Рис. 2. Алгоритм моделирования надежности восстанавливаемой системы с «холодным» резервом и ненадежным ВО

После проведения необходимого числа циклов моделирования ( $Q$  – объем выборки) вычисляются средняя наработка на отказ системы и коэффициент вариации наработки на отказ  $T_c$  и  $V_c$  по формулам

$$T_c = \frac{1}{Q} \sum_{j=1}^Q t_{c_j}; \quad (1)$$

$$V_c = \frac{1}{T_c} \sqrt{\frac{1}{Q-1} \sum_{j=1}^Q (t_{c_j} - T_c)^2}. \quad (2)$$

Временная диаграмма работы восстанавливаемой системы с «холодным» резервом и ненадежным ВО приведена на рис. 3.

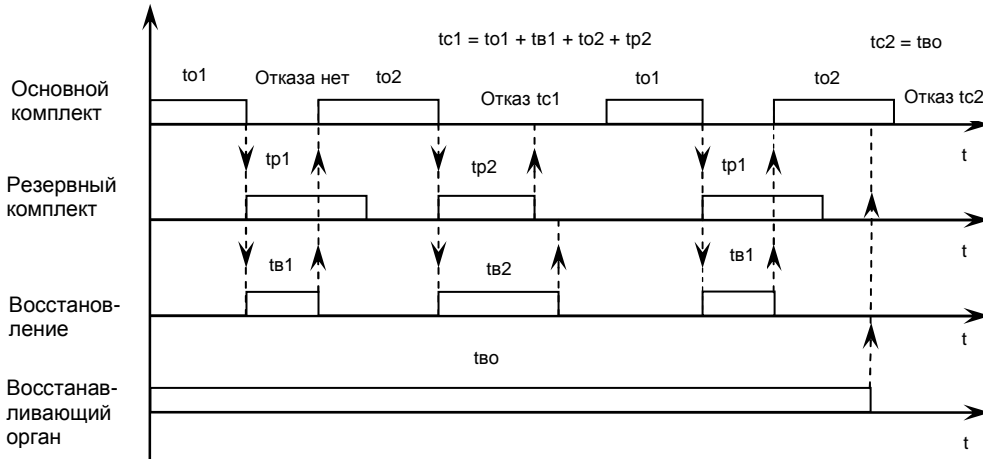


Рис. 3. Временная диаграмма работы восстанавливаемой системы с «холодным» резервом и ненадежным ВО

Здесь изображены три основные ситуации, наблюдающиеся в процессе моделирования системы, – нормальное функционирование, отказ по причине превышения времени восстановления основного комплекта системы величины наработки на отказ резервного комплекта системы и отказ, вызванный отказом восстанавливающего органа.

### 3. Теоретические оценки надежности системы

Для проверки результатов моделирования используется расчетно-экспериментальная оценка надежности системы, которая имеет ССН-1 [3, 4] и состоит из последовательного соединения восстанавливаемой резервированной системы с абсолютно надежным ВО [1] и собственно ВО (рис. 4).

Расчетно-экспериментальная оценка средней наработки на отказ системы вычисляется по формуле



Рис. 4. Структурная схема надежности системы с ненадежным ВО (ССН-1)

$$T_c = \left[ \left( \hat{T}_c^a \right)^{-2} + \hat{T}_{го}^{-2} \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (3)$$

где  $\hat{T}_c^a$  – экспериментальная оценка средней наработки на отказ восстанавливаемой резервированной системы с абсолютно надежным ВО [1];

$\hat{T}_{го}$  – экспериментальная оценка средней наработки до отказа ВО.

#### 4. Результаты моделирования надежности системы

В качестве примера рассмотрим моделирование восстанавливаемой системы, имеющей наработки до отказа основного и резервного комплектов, равные  $T_o = T_p = 1000$  ч. Нарботка до отказа восстанавливающего органа  $T_{\text{во}}$  выбирается из ряда {5000, 10000, 50000, 100000} ч. Коэффициент вариации наработки до отказа системы и восстанавливающего органа равен  $V_o = V_p = V_{\text{во}} = 1$ . 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 системы с «холодным» резервом и ненадежным ВО приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты моделирования надежности 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 $T_o = T_p = 1000$ ч, $V_o = V_p = V_{\text{во}} = 1$ , $V_g = 0,75$							
	$T_{\text{во}} = 5000$ ч		$T_{\text{во}} = 10000$ ч		$T_{\text{во}} = 50000$ ч		$T_{\text{во}} = 100000$ 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	5411	0,92	8337	0,75	48519	0,83	63879	0,60
48	4448	1,13	10204	0,90	40329	0,96	67897	0,67
72	5381	1,16	9040	0,90	38017	0,72	52393	0,61
96	4654	0,81	9943	0,80	28139	0,89	34987	1,05
120	5754	0,83	7896	0,86	22558	0,85	28860	0,71
144	3503	0,92	6076	0,95	15588	0,63	21467	0,77

Графическая интерпретация результатов моделирования приведена на рис. 5.

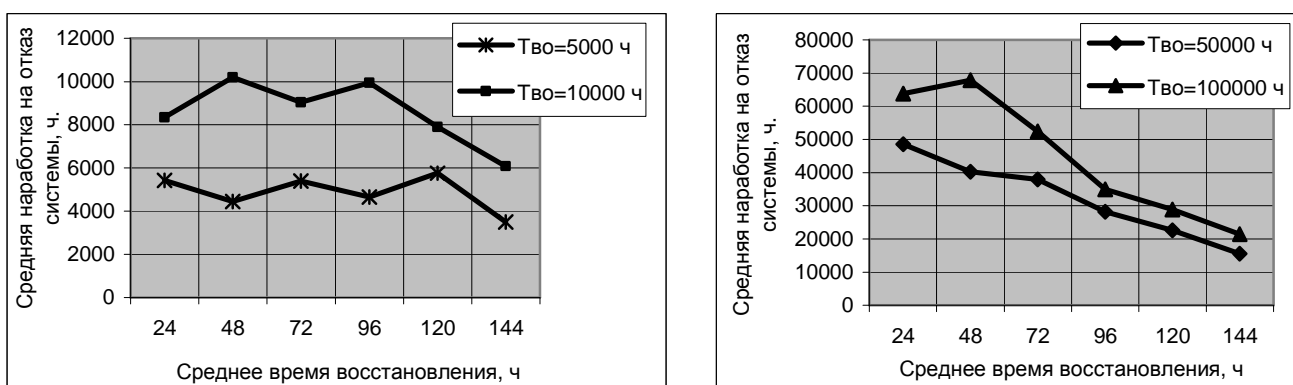


Рис. 5. Зависимость средней наработки на отказ системы от среднего времени восстановления и средней наработки до отказа ВО

Анализ результатов моделирования показал, что теоретические предположения о том, что безотказность восстанавливаемой резервированной системы с ненадежным ВО ограничивается безотказностью ВО, нашли экспериментальное подтверждение.

Исследованиями установлено, что в случае, когда безотказность ВО незначительно превышает безотказность одного комплекта резервированной системы (в 5–10 раз), то

результатирующая безотказность системы почти не зависит от величины среднего времени восстановления и практически равна безотказности ВО.

Когда безотказность ВО выше безотказности комплекта системы в 50–100 раз, то результирующая безотказность системы оказывается ниже безотказности ВО и сильно зависит от величины среднего времени восстановления системы.

Для подтверждения этих выводов было проведено моделирование безотказности системы с абсолютно надежным ВО (табл. 2) и далее расчетно-экспериментальным методом по формуле (3) была рассчитана безотказность системы на основе экспериментальных данных  $\hat{T}_c^a$  и  $\hat{T}_{\text{во}}^a$ , полученных в результате моделирования (табл. 3).

Таблица 2. Результаты моделирования надежности системы с абсолютно надежным ВО

Среднее время восстановления системы $T_{\text{в}}$ , ч	Средняя наработка на отказ системы $\hat{T}_c^a$ и коэффициент вариации наработки на отказ системы $\hat{V}_c^a$ при $V_o = V_p = V_{\text{во}} = 1$ и $V_{\text{в}} = 0,75$	
	$\hat{T}_c^a$ , ч	$\hat{V}_c^a$
24	1324566	1,11
48	474705	1,14
72	120111	1,05
96	42952	1,18
120	27122	0,97
144	18094	0,93

Сравнивая количественные показатели безотказности, приведенные в табл. 1 и 3, не трудно видеть, что они достаточно подобны, хотя принадлежат всего лишь к одному статистическому эксперименту, случайные составляющие которого имеют большой коэффициент вариации.

Таблица 3. Результаты оценки надежности системы с ненадежным ВО расчетно-экспериментальным методом с использованием величин  $\hat{T}_c^a$  (табл. 2) и  $\hat{T}_{\text{во}}^a$

Среднее время восстановления системы $T_{\text{в}}$ , ч	Расчетно-экспериментальная оценка средней наработки на отказ системы $T_c$ по формуле (3)			
	$\hat{T}_{\text{во}}^a = 5054\text{ч}$	$\hat{T}_{\text{во}}^a = 9589\text{ч}$	$\hat{T}_{\text{во}}^a = 49895\text{ч}$	$\hat{T}_{\text{во}}^a = 98706\text{ч}$
24	5054	9589	49860	98433
48	5054	9587	49622	96639
72	5049	9559	46078	76259
96	5019	9359	32552	39385
120	4969	9041	23829	26153
144	4868	8473	17010	17797

В заключение можно сформулировать следующие выводы.

## 5. Выводы

1. В работе предложен метод моделирования надежности восстанавливаемой системы с «холодным» резервом и ненадежным ВО 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. Показано, что в случае, когда безотказность ВО незначительно превышает безотказность одного комплекта резервированной системы (в 5–10 раз), то результирующая безотказность системы почти не зависит от величины среднего времени восстановления и практически равна безотказности ВО.

3. Когда безотказность ВО превышает безотказность одного комплекта резервированной системы в 50-100 раз, то результирующая безотказность системы ниже безотказности ВО и сильно зависит от величины среднего времени восстановления системы.

4. С целью обеспечения максимально возможного уровня надежности системы необходимо устанавливать требования к безотказности ВО, исходя из уровня теоретической безотказности резервированной системы с абсолютно надежным ВО. Необходимо иметь в виду, что даже в случае, когда безотказность ВО равна безотказности резервированной системы с абсолютно надежным ВО, безотказность резервированной системы с ненадежным ВО оказывается ниже безотказности ВО на 40%.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

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