

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ВОССТАНАВЛИВАЕМОЙ СИСТЕМЫ С «ХОЛОДНЫМ» РЕЗЕРВОМ

Abstract: The questions of statistical modeling of restored system reliability with a "cold" reserve on the basis of generators of the random numbers having DN-distribution are considered. The algorithm of reliability modeling and examples of reliability modeling of systems for the various initial data on components reliability parameters are offered.

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

Анотація: Розглянуті питання статистичного моделювання надійності відновлювальної системи з „холодним” резервом 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 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

К восстанавливаемым относятся такие системы, которые после отказа могут быть отремонтированы (восстановлены) и снова выполнять свои функции. Основной круг задач, рассматриваемых при оценке надежности восстанавливаемых систем, относится к следующей ситуации. Исправная система начинает эксплуатироваться в момент $t = 0$ и, проработав случайное время x_1 , выходит из строя. На ремонт требуется также случайное время y_1 . Этот процесс продолжается в течение всего срока службы системы, причем величины x_i и y_i независимы. Для обеспечения непрерывности функционирования системы во время ее восстановления используется один или несколько резервных комплектов, подключаемых вместо неисправного основного комплекта. Рассмотрим более подробно восстанавливаемую систему с ненагруженным резервом (рис. 1).

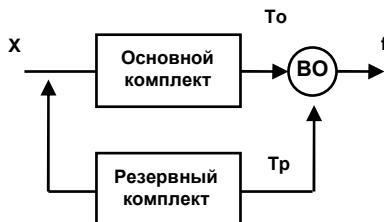


Рис. 1. Структурная схема восстанавливаемой системы с «холодным» резервом

Система состоит из основного комплекта, резервного комплекта и восстанавливающего органа (ВО). Восстанавливающий орган следит за состоянием основного комплекта системы и в случае его неисправности подключает взамен резервный комплект. После этого основной комплект ремонтируется (восстанавливается) и вновь включается в работу, а резервный комплект переводится в состояние «холодного» резерва, т.е. резерва, находящегося в режиме хранения.

Введем и прокомментируем ряд допущений, необходимых для организации моделирования надежности (в первом приближении) восстанавливаемой системы с «холодным» резервом.

Допущение 1. Восстанавливающий орган абсолютно надежен.

Допущение 1 касается надежности восстанавливающего органа (ВО). Для упрощения рассуждений чаще всего предполагается, что ВО абсолютно надежен, т.е. в расчетах и моделировании не рассматриваются ситуации отказа ВО. На практике, при достаточной сложности самой системы, которую контролирует ВО, последний представляет собой сложное устройство, надежность которого далека от абсолютной.

Допущение 2. Переключение на резервный комплект и обратно с помощью восстанавливающего органа происходит мгновенно.

Допущение 2 является не существенным при автоматическом переключении с основного комплекта на резервный и обратно. Однако при ручном переключении или при длительной процедуре запуска комплекта после пребывания его в «холодном» резерве или ремонте данное допущение становится существенным.

Допущение 3. Резервный комплект в ждущем режиме (ненагруженный резерв) абсолютно надежен.

Допущение 3 касается надежности резервного комплекта. В состоянии «холодного» резерва ресурс резервного комплекта расходуется значительно медленнее, чем ресурс основного комплекта. Однако при низкой надежности самой системы, длительной ее эксплуатации или при достаточно жестких условиях хранения резервного комплекта данное допущение становится существенным.

Допущение 4. Диагностическая способность восстанавливающего органа абсолютная.

Допущение 4 касается глубины и достоверности диагностирования комплектов системы с помощью ВО. Недостаточная глубина диагностирования может привести к пропуску неисправного состояния комплекта системы и продолжению функционирования ее с искаженной функцией выхода. Возможна и другая ситуация, при которой происходит переключение основного комплекта на резервный при фиксации ВО ложного отказа. При значительной технической сложности системы и алгоритмов ее функционирования возникает проблема создания ВО с высокой диагностической способностью и достоверностью работы и данное допущение становится существенным.

Допущение 5. Надежность основного и резервного комплектов не изменяется во времени.

Допущение 5 становится существенным при длительной эксплуатации системы и учете процессов старения и износа, протекающих в элементах системы.

Приняв описанные выше допущения, рассмотрим более подробно алгоритм моделирования надежности такого класса систем.

2. Моделирование надежности системы

Алгоритм моделирования надежности восстанавливаемой системы с «холодным» резервом приведен на рис. 2. Моделирование начинается с задания начальных параметров генераторов случайных чисел [1]: первый генератор, моделирующий надежность основного комплекта, имеет параметры: средняя наработка до отказа T_o и коэффициент вариации наработки до отказа V_o ; второй генератор, моделирующий надежность резервного комплекта, имеет параметры: средняя

наработка до отказа T_p и коэффициент вариации наработки до отказа V_p ; третий генератор, моделирующий продолжительность восстановления системы, имеет параметры: среднее время восстановления T_e и коэффициент вариации времени восстановления V_e ; а также задается объем выборки Q .

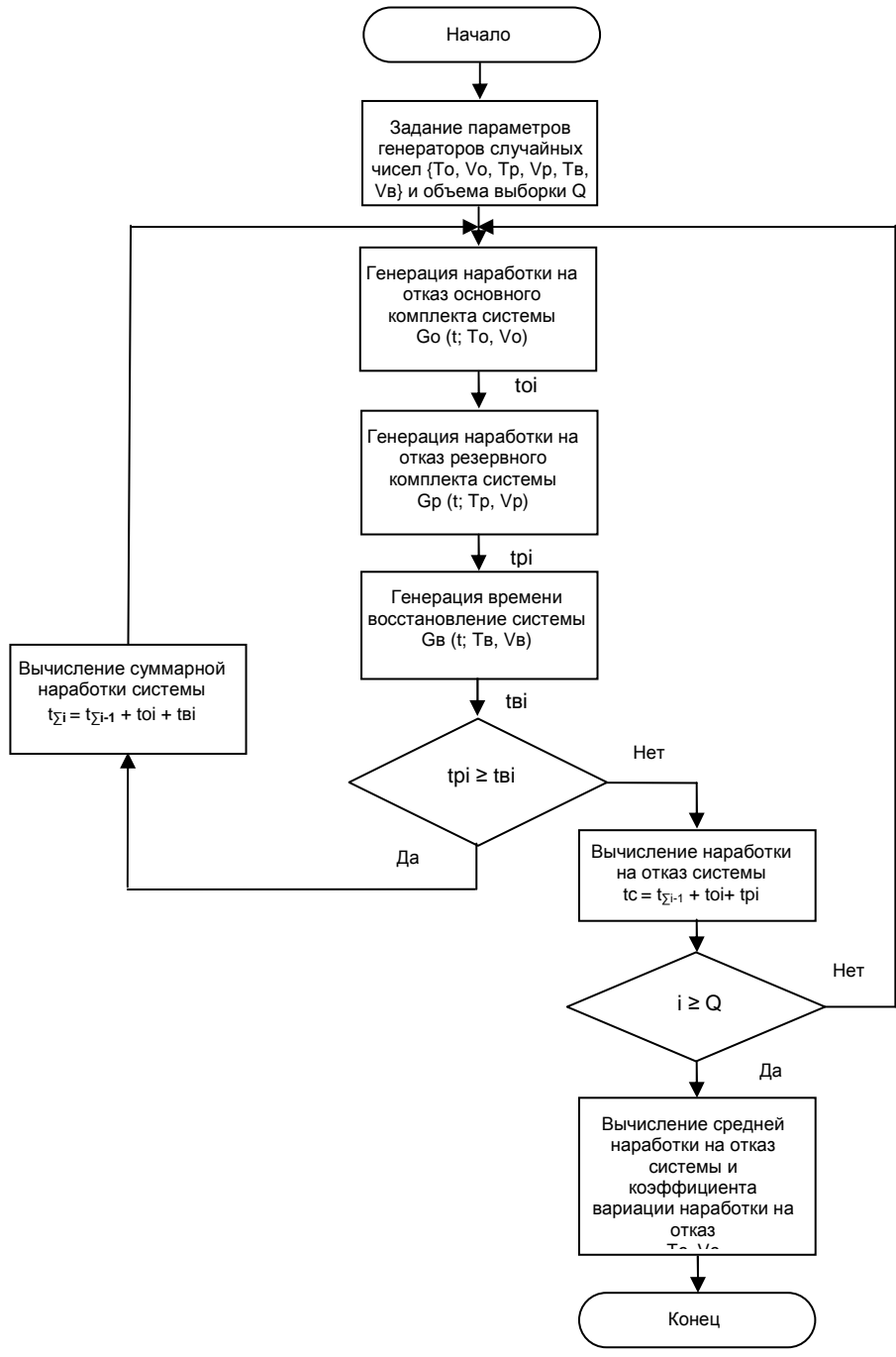


Рис. 2. Алгоритм моделирования надежности восстанавливаемой системы с «холодным» резервом

Далее генерируется момент отказа основного комплекта системы, затем виртуально подключается резервный комплект и генерируется момент отказа резервного комплекта и одновременно генерируется время восстановления основного комплекта. Если 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 $t_{\Sigma i} = t_{\Sigma i-1} + t_{oi} + t_{gi}$ (где i -количество восстановлений системы) и цикл моделирования повторяется снова.

Если время восстановления основного комплекта больше, чем наработка на отказ резервного комплекта, то фиксируется отказ системы и вычисляется наработка на отказ системы по формуле $t_c = t_{\Sigma i-1} + t_{oi} + t_{pi}$. 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 приведена на рис. 3.

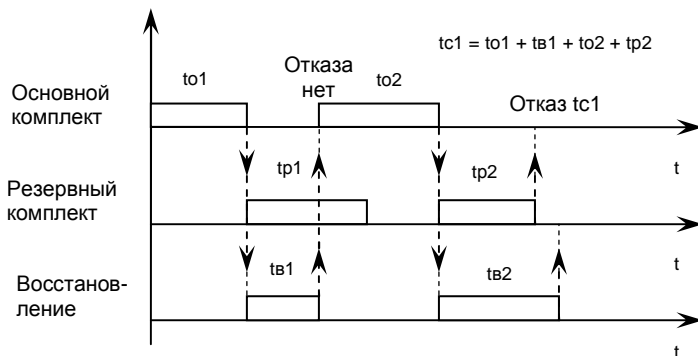


Рис. 3. Временная диаграмма работы восстанавливаемой системы с «холодным» резервом

3. Теоретические оценки надежности системы

Теоретические оценки надежности системы получены на основе вероятностно-физического метода расчета (ВФ-метода) [2, 3], основанного на использовании DN -распределения наработки до отказа (на отказ). ВФ-метод позволяет производить расчет надежности систем, имеющих различные структурные схемы надежности (ССН).

Для иллюстрации результатов моделирования используются оценки показателей надежности для ССН-5 [3], для которой объект содержит один основной и несколько r резервных элементов, находящихся в «холодном» (ненагруженном) режиме до начала выполнения ими (резервными элементами) функций основного элемента.

Параметр масштаба μ распределения наработки на отказ ($\mu = T_c$) вычисляется по формуле

$$\mu = T_c = \frac{T_0^2 r^2}{T_g} . \quad (3)$$

Параметр формы V распределения наработки на отказ ($V = V_c$) имеет следующую оценку:

$$V = V_c = \frac{V_0}{\sqrt{r+1}}. \quad (4)$$

4. Результаты моделирования надежности системы

Моделированию подлежит восстанавливаемая система, имеющая наработки до отказа основного и резервного комплектов, равные $T_o = T_p = 1000$ часов. При этом коэффициент вариации наработки до отказа системы и времени ее восстановления ($V_o = V_p = V_s$) изменяется от 1 до 1,2. Среднее время восстановления системы T_s изменяется в диапазоне от 24 ч. до 144 ч. Результаты моделирования надежности восстанавливаемой системы с «холодным» резервом приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты моделирования надежности восстанавливаемой системы с «холодным» резервом

Среднее время восстановления системы T_s , ч.	Средняя наработка на отказ системы T_c и коэффициент вариации наработки на отказ системы V_c при							
	$V_o = V_p = V_s = 1$		$V_o = V_p = V_s = 1,1$		$V_o = V_p = V_s = 1,2$		Теоретические значения	
	T_c , ч.	V_c	T_c , ч.	V_c	T_c , ч.	V_c	T_c , ч.	V_c
24	782314	0,95	521737	0,96	455623	0,85	41667	0,71-0,85
48	280815	1,02	200254	1,04	137556	0,93	20833	
72	89492	1,09	77139	0,92	47626	0,98	13889	
96	41254	0,84	42837	0,98	27591	1,10	10417	
120	30420	0,94	29644	0,99	17930	0,88	8333	
144	18190	1,08	21668	1,07	15221	0,88	6944	

Не трудно видеть, что с уменьшением среднего времени восстановления T_s средняя наработка на отказ системы T_c резко возрастает, а с ростом коэффициентов вариации $V_o = V_p = V_s$ надежность системы уменьшается.

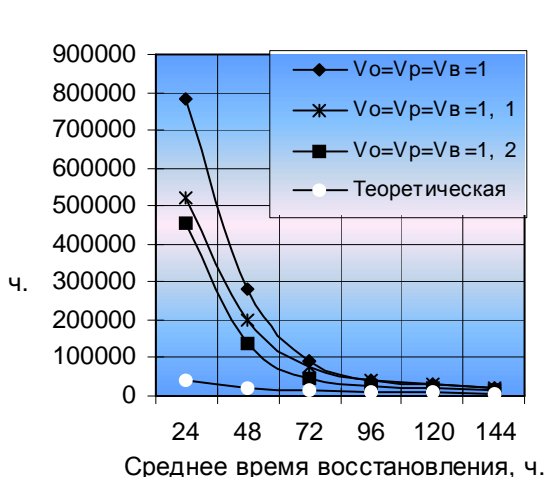


Рис.4. Графики зависимостей средней наработки на отказ системы от времени ее восстановления

Например, при $V_o = V_p = V_s = 1$ и $T_s = 72$ ч. средняя наработка на отказ системы равна $T_c = 89492$ ч., а при $V_o = V_p = V_s = 1,2$ и $T_s = 72$ ч. средняя наработка на отказ системы равна $T_c = 47626$ ч.

Графики зависимостей средней наработки на отказ системы от времени восстановления и коэффициента вариации

приведены на рис. 4. В качестве теоретической кривой на рис. 4 приведена зависимость, построенная на основе выражения (3). Теоретические оценки, полученные на основе ВФ-метода, оказываются сильно заниженными (при $T_g \leq 7\%$ от T_o) по отношению к экспериментальным данным, полученным по результатам статистического моделирования.

Интересным является получение зависимости надежности системы от коэффициента вариации времени восстановления V_g (табл. 2). Этот показатель тем меньше, чем выше ремонтпригодность системы, точность диагностирования неисправностей со стороны ВО, квалификация персонала сервисцентра. Аналогичное влияние оказывает близость расположения сервисцентра от эксплуатируемой системы и наличие достаточного количества запасных частей, необходимых для ремонта системы.

Таблица 2. Результаты моделирования надежности восстанавливаемой системы с «холодным» резервом

Среднее время восстановления системы T_g , ч.	Средняя наработка на отказ системы T_c и коэффициент вариации наработки на отказ системы V_c при $V_0 = V_p = 1$							
	$V_g = 0,75$		$V_g = 0,8$		$V_g = 0,9$		$V_g = 1$	
	T_c , ч.	V_c	T_c , ч.	V_c	T_c , ч.	V_c	T_c , ч.	V_c
48	474705	1,14	380352	1,01	329909	0,78	280815	1,02

График зависимости средней наработки на отказ системы от коэффициента вариации времени восстановления приведен на рис. 5.

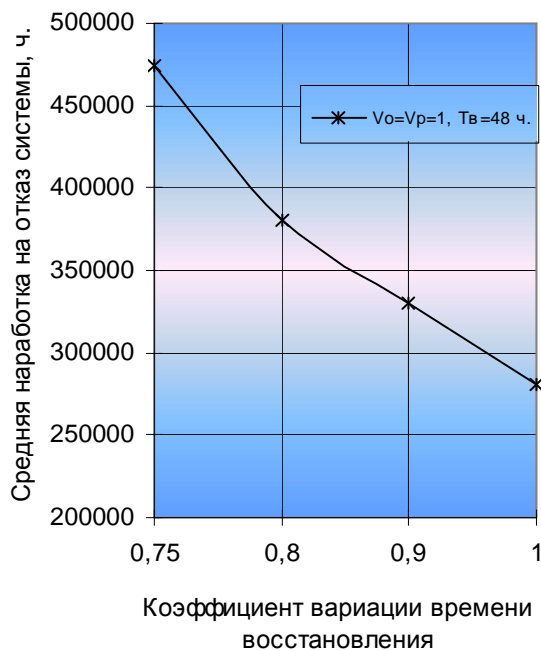


Рис. 5. Зависимость средней наработки на отказ системы от коэффициента вариации времени восстановления

Не трудно видеть, что с уменьшением коэффициента вариации времени восстановления V_g средняя наработка на отказ системы T_c возрастает в соответствии с зависимостью, изображенной на рис. 5.

5. Выводы

1. В статье разработан метод моделирования надежности восстанавливаемой системы с «холодным» резервированием 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. Установлено, что с уменьшением среднего

времени восстановления системы ниже 7% от T_0 резко возрастает средняя наработка на отказ. С уменьшением коэффициента вариации V_s при $V_0 = V_p = const$ надежность системы также увеличивается, а с ростом коэффициентов вариации $V_0 = V_p = V_s$ надежность системы уменьшается.

3. Использование восстанавливаемого «холодного» резерва системы позволяет увеличить ее надежность в зависимости от времени восстановления и коэффициентов вариации в десятки и сотни раз.

4. Разработанный подход к моделированию надежности восстанавливаемых систем с «холодным» резервом может быть распространен на моделирование надежности восстанавливаемых систем с различными видами резервирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федухин А.В., Сеспедес-Гарсия Н.В. К вопросу о статистическом моделировании надежности // Математичні машини і системи. – 2006. – № 1. – С.156–163.
2. Погребинский С.Б., Стрельников В.П. Проектирование и надежность многопроцессорных ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1988. – 168 с.
3. Стрельников В.П., Федухин А.В. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем. – К.: Логос, 2002. – 486 с.