

¹Сергей Васильевич Ленков (д-р техн. наук, профессор)¹Вадим Николаевич Цыцарев (канд. техн. наук, доцент)²Владимир Александрович Осыпа (канд. техн. наук, доцент)²Юлия Владимировна Березовская¹Военный институт Киевского национального университета имени Тараса Шевченко, Киев, Украина²Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПО СОСТОЯНИЮ РЕЗЕРВИРОВАННЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Приводятся результаты исследования влияния технического обслуживания по состоянию резервированной радиоэлектронной системы на показатели ее надежности и стоимости эксплуатации. Радиоэлектронная система рассматривается как восстанавливаемый объект, предназначенный для длительной эксплуатации. Восстановление работоспособности системы производится каждый раз сразу после ее отказа, при этом восстанавливаются все элементы в резервированных группах.

Исследование производится с помощью имитационной статистической модели. В качестве технического состояния резервированного элемента принимается текущее число исправных элементов в группе, представляющей данный резервированный элемент. В процессе эксплуатации осуществляется периодический контроль технического состояния системы. Если в результате контроля обнаружено, что число отказавших элементов в резервированной группе превысило заданное критическое значение, выполняется техническое обслуживание, заключающееся в восстановлении отказавших элементов.

Исследуются зависимости средней наработки на отказ системы и удельной стоимости ее эксплуатации от числа элементов в резервированной группе и от периодичности контроля состояния системы. Рассматривается пример моделирования для случаев постоянного и замещающего резервирования.

Ключевые слова: радиоэлектронная система; техническое обслуживание; резервирование.

Вступление

Постановка проблемы. Известно, что резервирование является одним из эффективных способов повышения надежности радиоэлектронных систем (РЭС). Также важным способом повышения надежности сложных РЭС является техническое обслуживание (ТО). Поэтому представляется интересным исследовать возможности совместного применения этих способов, выявить имеющиеся при этом закономерности и, по возможности, использовать их при проектировании систем.

Цель статьи. Поставим перед собой задачу исследовать влияние параметров резервирования (числа резервных элементов и способа резервирования) и параметров ТО (периодичности ТО и др.) на показатели надежности и стоимости эксплуатации РЭС.

Методы исследования

В качестве метода исследования выберем метод имитационного статистического моделирования, который, как показывается в [1], является, практически, единственным инженерным методом определения показателей надежности систем при произвольных законах распределения наработки до отказа элементов. Будем использовать разработанную нами ранее имитационную статистическую модель (ИСМ),

реализованную программой ISMPN [2] и позволяющую получать прогнозные оценки показателей надежности и стоимости эксплуатации РЭС на заданном периоде ее эксплуатации.

Изложение основного материала исследования

Предполагается, что РЭС является восстанавливаемой системой, предназначенной для длительной эксплуатации. В качестве интересующих нас показателей будем рассматривать два: T_0 – средняя наработка на отказ (показатель безотказности) и c_3 – удельные затраты стоимости эксплуатации системы, определяемые на заданном периоде ее эксплуатации. Показатели ремонтпригодности (среднее время восстановления и др.) так же формируются с помощью ИСМ, однако в рамках данной статьи рассматривать их мы не будем.

Оценка величины T_0 определяется по формуле

$$T_0 = T_3 / \bar{n}_{\text{отк}}, \quad (1)$$

где T_3 – заданный период эксплуатации;

$\bar{n}_{\text{отк}}$ – среднее число отказов системы в течение времени T_3 .

Оценка величины c_3 рассчитывается согласно следующему выражению:

$$c_3 = \frac{1}{T_3} \left(\sum_i^N (C_{0i} + C_{замi}) \bar{n}_{отки} + \sum_i^{N_{ТО}} (C_{ТОi} + p_{замi} C_{0i}) \bar{n}_{ТОi} \right), \quad (2)$$

где N – число элементов в системе (число элементов на структурной схеме надежности);

$N_{ТО}$ – число обслуживаемых элементов (обычно $N_{ТО} \ll N$);

C_{0i} – стоимость i -го элемента ($i = \overline{1, N}$);

$C_{замi}$ и $C_{ТОi}$ – стоимости операций замены и ТО i -го элемента;

$p_{замi}$ – вероятность того, что при ТО потребуется полная замена элемента;

$\bar{n}_{ТОi}$ – среднее количество ТО, выполняемых для i -го элемента в течение T_3 .

В (2) во второй сумме суммирование ведется только по обслуживаемым элементам. Величины $\bar{n}_{отки}$ и $\bar{n}_{ТОi}$ в (2) формируются в процессе моделирования, остальная информация задается как исходные данные.

В процессе эксплуатации системы осуществляется непрерывный контроль ее работоспособности. При возникновении отказа системы сразу производится ее восстановление, при этом восстанавливаются и отказавшие ранее резервные элементы.

Процесс ТО осуществляется следующим образом. С периодичностью T_k осуществляется контроль технического состояния (ТС) системы

путем контроля состояния некоторой части ее элементов (в том числе и обслуживаемых элементов). ТС резервированного элемента в момент времени t определяется величиной

$$u_i(t) = n_{oi}(t)/n_i, \quad (3)$$

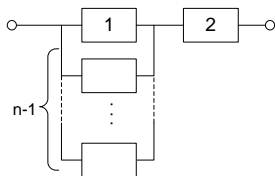
где n_i – число всех элементов, входящих в i -й резервированный элемент (число элементов в резервированной группе);

$n_{oi}(t)$ – число отказавших элементов к моменту времени t ($n_{oi}(t) \leq n_i$).

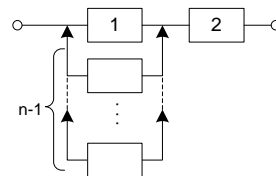
Если в момент контроля величина $u_i(t)$ достигла или превысила некоторый уровень $u_{ТОi}$, то выполняется ТО элемента, заключающееся, как правило, в замене всех неисправных элементов в группе.

Алгоритмы моделирования процесса отказов/восстановлений РЭС с резервированными элементами был ранее рассмотрен нами в [3]. Позже они были дополнены алгоритмом моделирования ТО по состоянию резервированных элементов, в котором в качестве показателя ТС элемента используется величина (3). В данной статье приводится простой пример моделирования ТО по состоянию РЭС с резервированным элементом.

Для примера возьмем простую систему, состоящую из двух элементов ($N=2$): 1 и 2 (рис. 1). Элемент 1 имеет существенно более низкий уровень надежности по сравнению с элементом 2, поэтому для обеспечения требуемого уровня надежности системы для элемента 1 введено резервирование.



а) постоянное резервирование



б) замещающее резервирование

Рис. 1. Структурная схема надежности моделируемой системы

Кроме того, для поддержания требуемой надежности системы для элемента 1 предусмотрено проведение ТО по состоянию ($N_{ТО} = 1$). Данный пример представляет предельно упрощенный вариант типичной ситуации, когда в РЭС имеется небольшое число элементов с низким уровнем надежности, увеличить который не представляется возможным кроме как введением резервирования и ТО. Элемент 2 олицетворяет собой всю остальную часть РЭС, надежность которой является приемлемой.

Для примера зададим следующие исходные данные.

Отказы элементов подчинены DN-распределению, которое является наиболее

адекватной моделью отказов для элементов РЭС [4]. Средняя наработка до отказа элементов 1 и 2: $T_{ср1} = 1$ тыс. ч; $T_{ср2} = 10$ тыс. ч. Коэффициент вариации наработки до отказа в обоих случаях равен 0,8.

Время подключения резерва при отказе основного элемента равно 0.

Стоимостные характеристики зададим одинаковыми для всех элементов:

$$C_{0i} = 10 \text{ у.е.}; C_{замi} = C_{ТОi} = 1 \text{ у.е.}; p_{замi} = 1.$$

Продолжительность эксплуатации системы зададим равной $T_3 = 20$ лет.

Вначале произведем моделирование для

системы без резерва (при $n_1 = 1$). В этом случае получим следующие значения показателей:

$$T_0 \approx 909,9 \text{ ч}; c_3 \approx 0,01429 \text{ у.е./ч.}$$

Для исследования влияния на показатели T_0 и c_3 факторов резервирования и ТО далее произведем расчеты для следующих вариантов параметров:

- число элементов в резервированной группе 1 n_1 , будем изменять от 2 до 5;
- периодичность контроля T_k будем задавать равной 500 ч, 1000 ч и 1500 ч.

Из предыдущего ясно, что существует еще один параметр, подлежащий заданию (фиксации) в

данном примере – это уровень ТО $u_{ТО1}$, который должен быть различным при различном количестве резервных элементов n_1 . Его значения будем задавать следующим образом: при $n_1 = 2$ – $u_{ТО1} = 0,5$; при $n_1 = 3$ – $u_{ТО1} = 0,66$; при $n_1 = 4$ – $u_{ТО1} = 0,75$; при $n_1 = 5$ – $u_{ТО1} = 0,8$.

Все результаты расчетов, полученные для этих параметров для случаев постоянного (нагруженного) и замещающего (ненагруженного) резервирования представим в форме таблиц 1 и 2. Для удобства анализа эти же данные на рис. 2 и 3 представлены в виде графиков.

Таблица 1

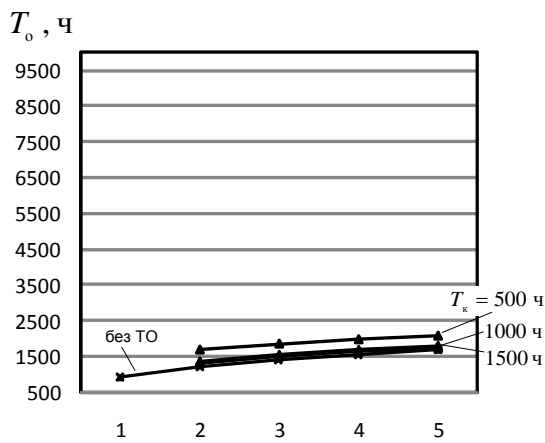
Показатели надежности и стоимости эксплуатации РЭС при постоянном резервировании

n	Средняя наработка на отказ T_0 , ч				Удельная стоимость эксплуатации c_3 , у.е./ч			
	без ТО	проводится ТО с периодичностью контроля T_k			без ТО	проводится ТО с периодичностью контроля T_k		
		500 ч	1000 ч	1500 ч		500 ч	1000 ч	1500 ч
2	1222	1689	1365	1308	0,0127	0,0682	0,0366	0,0287
3	1421	1858	1546	1495	0,0126	0,1219	0,0571	0,0422
4	1566	1982	1683	1633	0,0132	0,1903	0,0841	0,0591
5	1679	2083	1792	1742	0,0136	0,2725	0,1171	0,0796

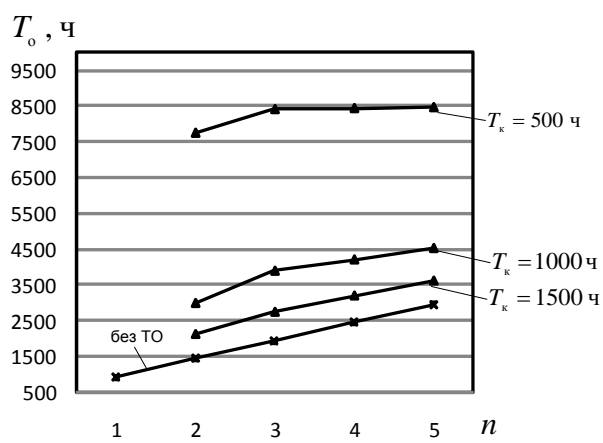
Таблица 2

Показатели надежности и стоимости эксплуатации РЭС при замещающем резервировании

n	Средняя наработка на отказ T_0 , ч				Удельная стоимость эксплуатации c_3 , у.е./ч			
	без ТО	проводится ТО с периодичностью контроля T_k			без ТО	проводится ТО с периодичностью контроля T_k		
		500 ч	1000 ч	1500 ч		500 ч	1000 ч	1500 ч
2	1435	7770	3008	2111	0,0108	0,0466	0,0242	0,0186
3	1922	8412	3902	2743	0,0093	0,1256	0,0521	0,0300
4	2442	8441	4214	3207	0,0081	0,2385	0,0863	0,0449
5	2963	8465	4528	3629	0,0072	0,3820	0,1228	0,0586



а) постоянное резервирование



б) замещающее резервирование

Рис. 2. Показатели безотказности резервированной системы с учетом ТО

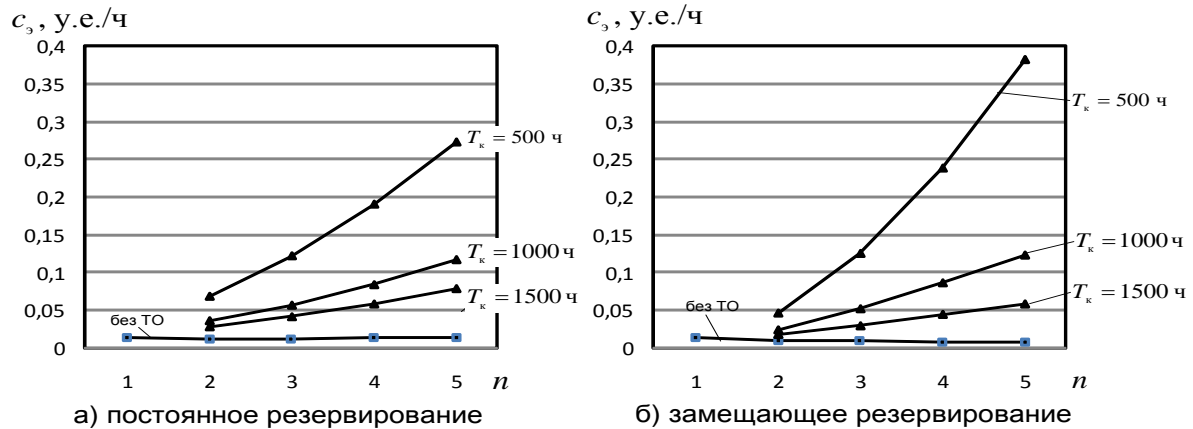


Рис. 3. Показатели стоимости эксплуатации резервированной системы с учетом ТО

Выводы

Анализ полученных результатов позволяет сделать такие выводы:

1. ТО по состоянию резервированных элементов в случае постоянного резервирования (при принятом критерии определения его ТС) не приводит к существенному улучшению уровня безотказности системы. Резервные элементы постоянно расходуют свой ресурс, и восстановление их ресурса после отказов оказывается в среднем ненамного меньшим, чем восстановление ресурса после проведения ТО.

2. В случае замещающего резервирования ТО по состоянию резервированных элементов позволяет существенно повысить уровень

безотказности системы. Объяснить это можно тем, что восстановленный в результате ТО ресурс резервных элементов не расходуется сразу (как при постоянном резервировании), а как бы «оставляется на потом», что в целом приводит к увеличению уровня безотказности системы.

3. Дополнительные экономические затраты на ТО по состоянию резервированных элементов в обоих случаях (при постоянном и замещающем резервировании) оказываются весьма высокими. Это сразу ставит вопрос о возможной нецелесообразности ТО по состоянию для резервированных элементов при постоянном резервировании.

Литература

1. Ушаков И. А. Вероятностные модели надежности информационно-вычислительных систем / И. А. Ушаков. – М. : Радио и связь, 1991. – 132 с.
2. Прогнозирование надежности сложных объектов радиоэлектронной техники и оптимизация параметров их технической эксплуатации с использованием имитационных статистических моделей. Монография / С. В. Ленков, К. Ф. Борjak, Г. В. Банзак, В. О. Браун [и др.] : под ред. С. В. Ленкова. – Одесса : Изд-во “ВМВ”,

2014. – 256 с.
3. Ленков С. В. Имитационная статистическая модель процесса отказов резервированных радиоэлектронных систем / С. В. Ленков, В. О. Браун, С. А. Пашков, В. Н. Цыцарев // Журнал “Сучасна спеціальна техніка”. – К., 2014. – № 4 (39). – С. 112–119.
4. ГОСТ 27.005-97. Надежность в технике. Модели отказов. Основные положения. – Введ. 1999-01-01. – 45 с.

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗА СТАНОМ РЕЗЕРВОВАНИХ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ

¹Сергій Васильович Ленков (д-р техн. наук, професор)

¹Вадим Миколайович Цицарєв (канд. техн. наук, доцент)

²Володимир Олександрович Осипа (канд. техн. наук, доцент)

²Юлія Володимирівна Березовська

¹Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

²Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Наводяться результати дослідження впливу технічного обслуговування за станом резервованої радіоелектронної системи на показники її надійності та вартості експлуатації. Радіоелектронна система розглядається як відновлюваний об'єкт, призначений для тривалої експлуатації. Відновлення працездатності системи здійснюється кожен раз відразу після її відмови, при цьому відновлюються всі елементи в резервованих групах.

Дослідження проводиться за допомогою імітаційної статистичної моделі. В якості технічного стану резервованого елемента приймається поточне число справних елементів в групі, яка представляє даний резервований елемент. У процесі експлуатації здійснюється періодичний контроль технічного

стану системи. Якщо в результаті контролю виявлено, що число елементів, що відмовили, в резервованій групі перевищила задане критичне значення, виконується технічне обслуговування, яке полягає у відновленні елементів, що відмовили.

Досліджуються залежності середнього наробітку на відмову системи і питомої вартості її експлуатації від числа елементів у резервованій групі та від періодичності контролю стану системи. Розглядається приклад моделювання для випадків постійного і заміщаючого резервування.

Ключові слова: радіоелектронна система; технічне обслуговування; резервування.

MODELING TECHNICAL MAINTENANCE THROUGH REDUNDANT RADIOELECTRONIC SYSTEMS CONDITION

¹*Serhii V. Lenkov (Doctor of Technical Sciences, Professor)*

¹*Vadym M. Tsytsariiev (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)*

²*Volodymyr O. Osypa (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)*

²*Yuliia V. Berezovska*

¹*Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine*

²*Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine*

The research results of the technical maintenance influence through redundant radioelectronic system condition on its reliability indicators and operating costs are given. The radioelectronic system is regarded as the restored object, designed for a long term operation. The restoration of working system capacity is provided each time immediately after its failure, herewith the all elements in the redundant groups are restored.

Research is carried out using the simulation statistical model. As the technical condition of the redundant element is the current number of serviceable elements in the group represents the current redundant element. In course of operation the periodic control of the system technical condition is carried out. If as follows from the control found that the number of failed elements in the redundant group exceeded the preset critical value, performing technical maintenance is what to restore the failed elements.

The dependence of mean time between failures of the system and the unit cost of its operation on the number of elements in the redundant group and on the periodicity of the system status control are researched. The simulation example for cases of constant and replacement redundant is considered.

Keywords: radioelectronic system; technical maintenance; redundant.

References

1. Ushakov I.A. (1991) Probabilistic models of reliability of information systems. [Veroyatnostnyie modeli nadezhnosti informatsionno-vychislitelnyih sistem], Radio and Communication, Moscow, 132 p. **2. Lenkov S.V., Borjak K.F., Banzak G.V., Braun V.O., Ossypa V.A., Pashkov S.A., Tsytsarev V.N., Berezovskaya J. V.** (2014) Forecasting to reliability complex object radio-electronic technology and optimization parameter their technical usage with use the simulation statistical models: monograph. [Prognozirovanie nadezhnosti slozhnyih ob'ektov radioelektronnoy tehniki i optimizatsiya parametrov ih

tehnicheskoy ekspluatatsii s ispolzovaniem imitatsionnyih statisticheskikh modeley: monografiya], Publishing house "BMB", Odessa, 256 p. **3. Lenkov S.V., Braun V.O., Pashkov S.A., Tsytsarev V.N.** Simulation statistical model of the process failures of redundant radioelectronic systems. [Imitatsionnaya statisticheskaya model protsessa otkazov rezervirovannyih radioelektronnyih sistem], Zhurnal "Suchasna spetsialna tekhnika", No. 4(39), pp. 112–119. **4. GOST 27.005-97** (1999–01–01) Reliability in technics. The models of failures. The main provisions. [Nadezhnost v tehnike. Modeli otkazov. Osnovnyie polozheniya], 45 p.

Отримано: 15.01.2015 року