

УДК 621.382

РАЗРАБОТКА ПРОГНОЗНОЙ МОДЕЛИ КАЧЕСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ МЕТОДОМ ЭКСТРАПОЛЯЦИИ

© 2014 Р.О. Мишанов, М.Н. Пиганов

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П. Королёва

Поступила в редакцию 24.11.2014

В статье рассмотрена методика разработки прогнозной модели оператора прогнозирования качества стабилитронов методом экстраполяции. Приведены результаты обучающего эксперимента. Для построения оператора прогнозирования использованы квазидетерминированные модели линейного, логарифмического, экспоненциального и параболического вида. Проведено исследование разработанного оператора. Получены вероятностные характеристики его эффективности.

Ключевые слова: *прогнозная модель, полупроводниковый прибор, стабилитрон, экстраполяция, квазидетерминированные модели, обучающий эксперимент*

Современный этап развития радиоэлектроники и телекоммуникационных систем характеризуется обострением проблемы надежности и качества в целом вследствие усложнения радиоэлектронных средств (РЭС), выражающемся как в резком увеличении количества используемых элементов и блоков, в появлении качественно новых ответственных функций, возлагаемых человеком на аппаратуру, так и в расширении условий работы. Аппаратуре различного назначения приходится действовать в условиях интенсификации режимов работы и выполнять различные функции. В силу этих причин повышаются требования к точности и эффективности выполнения заданных функций не только системой в целом, но и каждым отдельным элементом. В наиболее жестких условиях должна функционировать радиоэлектронная аппаратура (РЭА), установленная на борту ракет-носителей и космических аппаратов. Наиболее достоверные и полные показатели надежности обычно получают по результатам эксплуатации аппаратуры, однако эта информация поступает, как правило, с большим опозданием. Традиционные методы испытаний аппаратуры во многих случаях также не позволяют подтвердить заданный уровень ее надежности и качества из-за наличия ряда трудно выявляемых скрытых дефектов. В связи с этим одним из перспективных направлений в разработке эффективных и

экономически приемлемых методов оценки надежности и качества РЭС и электрорадиоизделий (ЭРИ) является прогнозирование их будущего состояния [1-4].

Наибольшую точность обеспечивает индивидуальное прогнозирование (ИП). Его смысл заключается в том, что по величине информативного параметра или по результатам наблюдения за каждым конкретным экземпляром и полученной прогнозной модели делается вывод о потенциальной надежности этого экземпляра, т.е. о возможности его использования по назначению в течение заданного срока службы [3, 4]. В работах [5, 6] предложены структурные модели ИП показателей качества космических РЭС. Для оценки эффективности прогнозных моделей разработана методика [7]. Однако основная проблема состоит в отсутствии прогнозных моделей для многих ЭРИ.

Цель работы: разработка прогнозной модели и анализ ее эффективности на примере параметров качества стабилитронов.

Обучающий эксперимент. Индивидуальное прогнозирование стабилитронов производилось с помощью программы «Прогнозирование v2.0» тремя методами. Была использована выборка, состоящая из 50 стабилитронов 2С182Ж. Первый этап ИП состоял в проведении обучающего эксперимента. Измерялись значения информативных параметров (коэффициент увеличения теплового тока K_T и дифференциальное сопротивление R_d) и прогнозируемого параметра (дрейф напряжения стабилизации ΔU_{cm}) каждого экземпляра выборки. Величина ΔU_{cm} оценивалась за 25, 100, 250, 500 1000 часов испытаний

Мишанов Роман Олегович, аспирант. E-mail: kipres@ssau.ru

Пиганов Михаил Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры конструирования и технологии электронных систем и устройств. E-mail: piganov@ssau.ru

при температуре +120 °С. Результаты обучающего эксперимента приведены в табл. 1. В дальнейшем для удобства параметры K_T и R_θ обозначены как x_1 и x_2 соответственно, а $\Delta U_{cm} - y$. Было установлено граничное значение $\Delta U_{cm} = 20$ мВ, выявлен фактический класс годности каждого изделия: K_1 – годные, K_2 – не годные. В качестве квазидетерминированных моделей использовались наиболее универсальные модели:

линейная, логарифмическая, экспоненциальная и параболическая. В табл. 2 представлены преобразованные данные по методу экстраполяции с использованием линейной модели. В табл. 3 приведено значение $P_{ош}$, $P_{потр}$ и $P_{изг}$ для каждой используемой квазидетерминированной модели при экстраполяции параметров выборки.

Таблица 1. Данные для экстраполяции

№	Класс	25 ч	100 ч	250 ч	500 ч	1000 ч
1	1	2	4	5	7	8
2	2	7	12	18	25	33
3	1	5	9	12	14	18
4	1	3	4	5	7	8
5	1	1	2	4	6	7
6	1	2	5	8	12	13
7	1	1	2	4	4	5
8	1	2	3	4	5	6
9	1	3	4	6	8	9
10	1	1	2	3	4	4
11	1	1	3	3	4	5
12	1	3	6	10	13	16
13	1	4	9	12	15	18
14	1	1	2	3	5	5
15	1	2	6	7	8	9
16	1	2	3	5	6	7
17	2	6	11	14	19	27
18	1	3	5	6	7	10
19	2	5	12	17	23	28
20	1	4	6	10	15	19
21	2	3	9	14	20	23
22	1	2	3	5	8	11
23	1	2	4	7	8	10
24	1	1	3	4	7	8
25	2	5	14	21	30	33
26	2	7	18	29	35	42
27	1	2	4	5	7	9
28	2	8	11	15	21	28
29	2	7	12	16	20	26
30	1	3	4	6	9	12
31	1	2	3	5	7	9
32	2	5	9	14	19	25
33	1	5	7	12	15	20
34	2	4	7	13	19	24
35	1	1	3	4	5	6
36	1	1	3	4	4	5
37	1	2	3	5	8	9
38	1	3	8	11	14	18
39	2	9	16	21	29	34
40	1	2	3	4	6	6
41	1	1	1	3	3	4
42	2	4	9	14	20	24
43	2	5	12	17	22	26
44	1	1	2	2	3	3
45	1	2	3	7	9	11
46	1	2	5	8	9	10
47	2	9	17	26	35	45

Продолжение таблицы 1						
48	1	2	3	6	8	9
49	1	4	10	11	13	16
50	2	6	13	19	24	28
	MO:	3,36	6,58	9,68	12,88	15,78
	DIS:	4,888163	19,63633	41,44653	72,84245	112,9914
	SKO:	2,210919	4,431289	6,437898	8,534779	10,62974

Таблица 2. Преобразованные данные по методу экстраполяции

№	Класс	α_0	α_1	Ошибка	Y_{np}^*	K^*	Y_{np}
1	1	-3,35501	1,601816	0,141147	7,711537	1	8
2	2	-13,5379	5,921479	3,043723	27,37218	2	33
3	1	-5,01856	3,062625	0,008235	15,14037	2	18
4	1	-1,45854	1,266063	0,297724	7,288374	1	8
5	1	-4,89384	1,660715	0,410518	6,579626	1	7
6	1	-9,24886	3,26253	0,858997	13,29116	1	13
7	1	-2,76707	1,125057	0,181934	5,005666	1	5
8	1	-1,39516	0,998234	0,038571	5,501395	1	6
9	1	-2,89384	1,660715	0,410518	8,579626	1	9
10	1	-2,39516	0,998234	0,038571	4,501395	1	4
11	1	-1,85633	0,939335	0,141695	4,633306	1	5
12	1	-8,62077	3,389353	0,563985	14,79544	2	16
13	1	-7,97842	3,666207	0,03913	17,35051	2	18
14	1	-3,45854	1,266063	0,297724	5,288374	1	5
15	1	-4,08457	2,005493	0,345271	9,770884	1	9
16	1	-2,83046	1,392886	0,163427	6,792646	1	7
17	2	-8,10519	4,201865	0,819728	20,92447	2	27
18	1	-1,29163	1,333987	0,009175	7,924558	1	10
19	2	-14,8321	5,930504	0,785625	26,14028	2	28
20	1	-8,85107	3,589258	2,53465	15,94623	2	19
21	2	-15,9356	5,594751	1,191415	22,71712	2	23
22	1	-4,95723	1,928544	0,923207	8,366606	1	11
23	1	-5,16223	2,12329	0,217288	9,507061	1	10
24	1	-5,4184	1,869645	0,538718	7,498517	1	8
25	2	-22,6858	8,1948	2,6117	33,93005	2	33
26	2	-25,0298	9,641427	1,03752	41,58044	2	42
27	1	-3,35501	1,601816	0,141147	7,711537	1	9
28	2	-6,81093	4,19284	2,86018	22,15637	2	28
29	2	-7,4771	4,328688	0,302101	22,42874	2	26
30	1	-3,95723	1,928544	0,923207	9,366606	1	12
31	1	-3,89384	1,66071	0,41052	7,57963	1	9
32	2	-11,0793	4,65542	1,50613	21,0838	2	25
33	1	-7,1596	3,44825	1,48932	16,6635	2	20
34	2	-13,6815	4,98214	3,69466	20,7389	2	24
35	1	-3,29163	1,33399	0,00917	5,92456	1	6
36	1	-2,22824	1,06616	0,1428	5,13758	1	5
37	1	-4,95723	1,92854	0,92321	8,36661	1	9
38	1	-8,97842	3,66621	0,03913	16,3505	2	18
39	2	-12,9589	6,46616	2,60284	31,7142	2	34
40	1	-2,45854	1,26606	0,29772	6,28837	1	6
41	1	-1,8706	0,7893	0,31544	3,5825	1	4
42	2	-14,0392	5,259	1,72883	22,294	2	24
43	2	-13,7687	5,66267	0,27542	25,3533	2	26
44	1	-0,95986	0,60358	0,07143	3,21014	1	3
45	1	-6,76445	2,45002	1,10926	10,1621	1	11
46	1	-6,0587	2,45904	0,12021	10,9302	1	10
47	2	-20,6599	8,64835	4,04692	39,0894	2	45
48	1	-5,32915	2,05537	0,68103	8,87088	1	9
49	1	-4,9409	2,94483	0,83113	15,4042	2	16
50	2	-14,204	6,05733	0,38494	27,6446	2	28
	MO:	-7,3789	3,1616	0,37516	14,4638		15,78
	DIS:	32,15135	4,732502	1,233323	91,64856		110,732
	SKO:	5,670216	2,175431	1,110551	9,573325		10,5229

Из табл. 3 видно, что наименьшая вероятность принятия ошибочного решения достигается при использовании логарифмической модели. Метод экстраполяции позволил получить оператор прогнозирования следующего вида:

$$\Delta U_{cm} = -7,3789 + 3,1616 \cdot \ln(t + 1).$$

В качестве примера на рис. 1-4 изображены графики поведения прогнозируемого параметра при использовании логарифмической модели для элементов №1, №18, №27, №45 исследуемой выборки.

Таблица 3. Результаты прогнозирования по методу экстраполяции

	Вид квазидетерминированной модели			
	линейная	логарифмическая	экспоненциальная	параболическая
$P_{ош}$	0,14	0,02	0,32	0,36
$P_{номр}$	0,2	0	0,36	0,39
$P_{изг}$	0	0,045	0	0

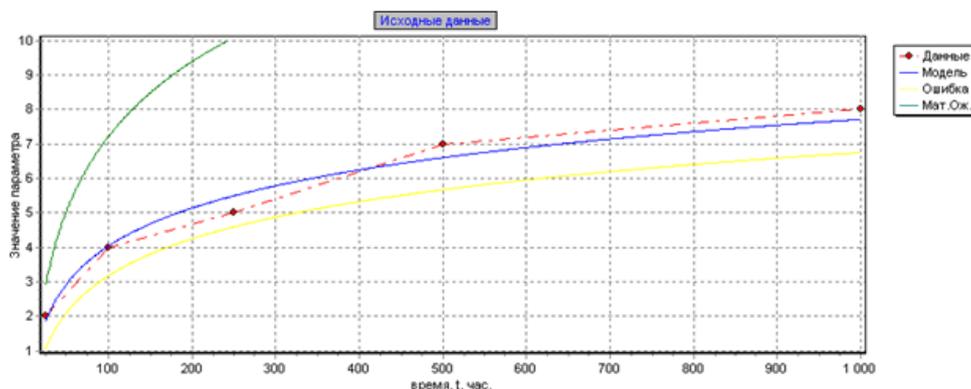


Рис. 1. График поведения параметра для экземпляра №1

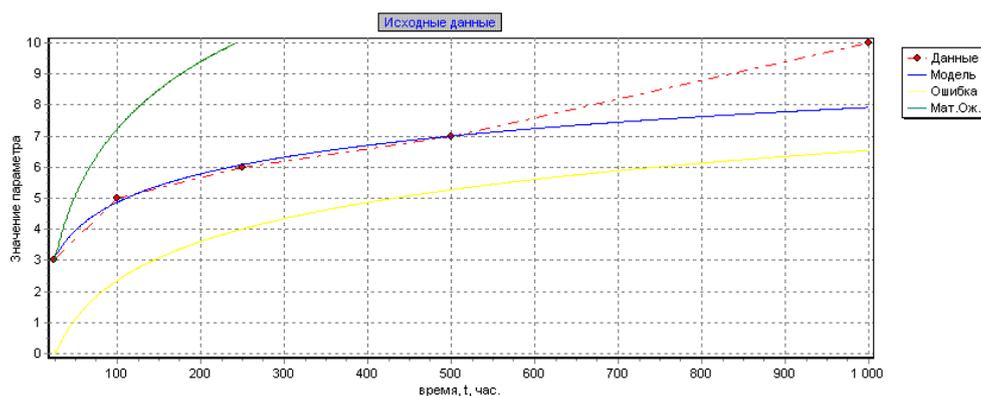


Рис. 2. График поведения параметра для экземпляра №18

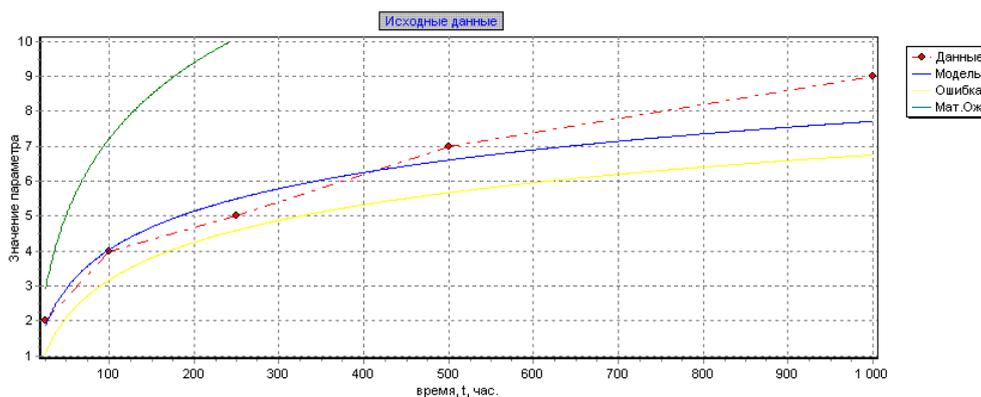


Рис. 3. График поведения параметра для экземпляра №27

На рис. 5 изображён результирующий график для выборки по методу экстраполяции. Анализируя график, изображённый на рис. 5,

можно составить таблицу результирующих данных для данного метода (табл. 4).

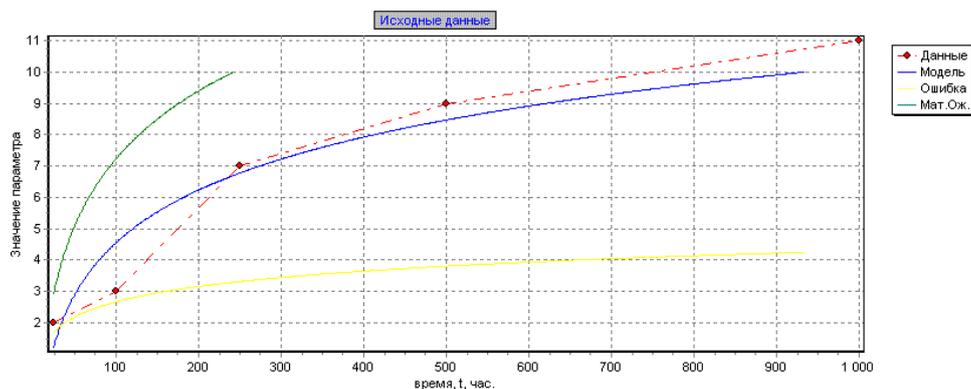


Рис. 4. График поведения параметра для экземпляра №45

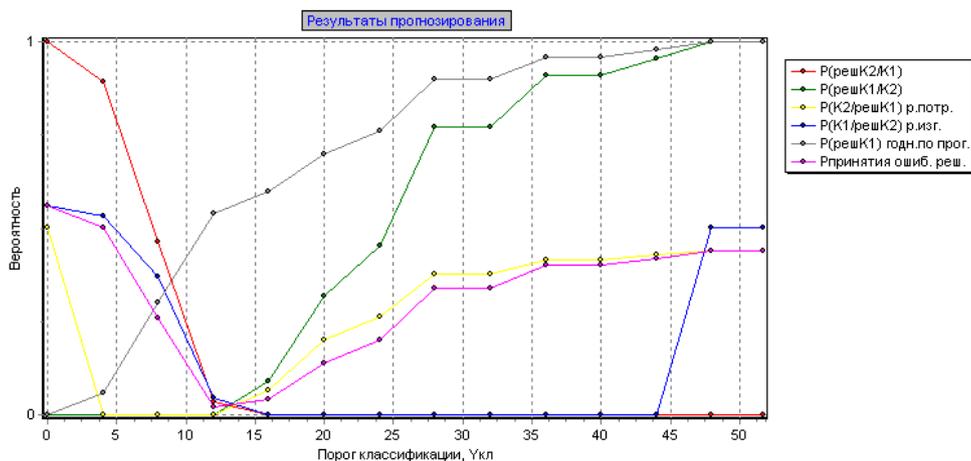


Рис. 5. Зависимость вероятностных характеристик от порога классификации

Таблица 4. Результирующие данные для экстраполяции

Наименование параметра	Значение
порог классификации, $Y_{кл}$	12
вероятность принятия ошибочного	0,02
риск изготовителя, $P_{изг}$	0,045
риск потребителя, $P_{потр}$	0
$P(\text{реш } K_2/K_1)$	0,036
$P(\text{реш } K_1/K_2)$	0

Выводы: сравнительная оценка четырех видов квазидетерминированных моделей показала, что наименьшая вероятность принятия ошибочных решений достигается при использовании логарифмической модели. Исследование данной прогнозной модели показало, что минимальное значение $P_{изг} = 0$ будет при $Y_{кл} = 16 \dots 44$. При этом $P_{ош} = 0,04 \dots 0,42$, а $P_{потр} = 0,067 \dots 0,43$. Минимальное значение $P_{потр} = 0$ соответствует $Y_{кл} = 4 \dots 12$. При этом $P_{ош} = 0,5 \dots 0,02$, $P_{изг} = 0,533 \dots 0,045$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Абрамов, О.В.* Алгоритм оценки и прогнозирования остаточного ресурса сложных технических систем // Надежность и качество – 2013: труды Междун. симпоз.: в 2-х т. / Под ред. *Н.К. Юркова*. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2013. Т.1. С. 5-6.
2. *Жаднов, В.В.* Анализ моделей прогнозирования расчета надежности комплектующих элементов бортовой электронной аппаратуры // Надежность и качество – 2013: труды Междун. симпоз.: в 2-х т. / Под ред. *Н.К. Юркова*. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2013. Т.1. С. 28-31.
3. *Пиганов, М.Н.* Индивидуальное прогнозирование показателей качества элементов и компонентов микросборок. – М.: Новые технологии, 2002. 267 с.
4. *Пиганов, М.Н.* Прогнозирование надежности радиоэлектронных средств / *М.Н. Пиганов, С.В. Тюлевин* // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2009. №1 (72). С. 174-180.
5. *Тюлевин, С.В.* Структурная модель индивидуального прогнозирования параметров космической аппаратуры / *С.В. Тюлевин, М.Н. Пиганов* // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2008. № 1. С. 92-96.
6. *Пиганов, М.Н.* Индивидуальное прогнозирование показателей качества элементов микросборок. – Самара: СГАУ, 1999. 160 с.
7. *Тюлевин, С.В.* К проблеме прогнозирования показателей качества элементов космической аппаратуры / *С.В. Тюлевин, М.Н. Пиганов, Е.С. Еранцева* // Надежность и качество сложных систем. 2014. №1. С. 9-17.

DEVELOPMENT OF FORECASTING MODEL OF SEMICONDUCTOR DEVICES QUALITY BY EXTRAPOLATION METHOD

© 2014 R.O. Mishanov, M.N. Piganov

Samara State Aerospace University named after the Academician S.P. Korolyov

In article the method of development the operator forecasting model of forecasting the quality of stabilatron by extrapolation method is considered. Results of the teaching experiment are given. For creation of the operator of forecasting it was used the quasidetermined models of linear, logarithmic, exponential and parabolic type. Research of the developed operator is conducted. Probabilistic characteristics of its efficiency are received.

Key words: forecasting model, semiconductor device, stabilatron, extrapolation, quasidetermined models, teaching experiment

*Roman Mishanov, Post-graduate Student. E-mail:
kipres@ssau.ru*

*Mikhail Piganov, Doctor of Technical Sciences,
Professor at the Department of Design and
Technology of Electronic Systems and Devices.
E-mail: piganov@ssau.ru*