

## Определение и оценка прогнозных моделей качества для интегральных микросхем с использованием теории распознавания образов

Е.С. Еранцева, М.Н. Пиганов , Р.О. Мишанов, А.А. Денисюк

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева  
443086, Россия, г. Самара,  
Московское шоссе, 34

*Аннотация* – В статье рассмотрена методика прогнозных моделей интегральных микросхем серии 564 на основе методов теории распознавания образов. Для построения моделей были использованы методы регрессионных моделей и дискриминантных функций. Проведено исследование полученных прогнозных моделей. Определены оптимальные значения порога дискриминантной и регрессионной функций. Оценены значения вероятности ошибочных решений, а также рисков потребителя и изготовителя.

*Ключевые слова* – индивидуальное прогнозирование, интегральная микросхема, выборка, прогнозная модель, метод регрессионных моделей, метод дискриминантных функций, вероятностные характеристики.

### Введение

Поиск математических прогнозных моделей для определения состояния изделий через определенное время – один из эффективных способов влияния на бесперебойную работу аппаратуры, особенно устанавливаемую на борт космических аппаратов. Результаты такого подхода к прогнозированию состояния изделий можно использовать на этапе изготовления аппаратуры. Кроме того, около 30 % отказов и дефектов электрорадиоизделий (ЭРИ) не могут быть определены и выявлены с помощью существующей системы технологического контроля и приемочных испытаний [1]. Таким образом, развитие методов индивидуального прогнозирования (ИП), при которых выдвигается предположение о существовании стохастической связи между начальными значениями информативных параметров и уровнем надежности [2–5], выглядит весьма перспективно в сложившейся ситуации.

В связи с большой номенклатурой ЭРИ особое внимание необходимо уделять физико-химическому анализу отказов, механизмам их возникновения, закономерностям, приводящим к отказам изделий. Таким образом, ставится задача поиска информативных параметров, начальные значения которых можно определить при изготовлении аппаратуры с существующим метрологическим обеспечением на производстве, с необходимой точностью и достоверностью. Кроме того, для исключения разрушающего воздействия на элементы

необходимо рассматривать возможности применения методов и средств диагностического неразрушающего контроля [6; 7].

В работе приводятся результаты поиска прогнозных моделей для партии интегральных микросхем. В качестве рассмотренных методов были выбраны метод регрессионных моделей и метод дискриминантных функций с использованием теории распознавания образов. Оценку партии микросхем, представляющей собой генеральную совокупность, целесообразно произвести на выборке, состоящей из 50 экземпляров. Было установлено, что в качестве информативных параметров необходимо рассмотреть время задержки по переднему фронту сигнала  $t_p^+(x_1)$  и критическое питающее напряжение  $E_{кр. П}(x_2)$ . В качестве прогнозируемого параметра, по которому проводится оценка состояния изделия, выбран дрейф тока утечки ( $y$ ) по прошествии 1000 часов испытаний. Значения параметров экземпляров выборки представлены в таблице.

В некоторых случаях вместо прогнозной модели достаточно знать класс, к которому относится экземпляр из выборки. В большинстве случаев рассматривают два класса: класс годных изделий и класс потенциально дефектных изделий. Для этого вводится граничное значение прогнозируемого параметра, для рассматриваемой выборки равно 60. Таким образом, можно для каждого экземпляра определить фактический класс принадлежности. Экземпляр принадлежит к классу годных изделий, если значение прогнозируемого

**Таблица.** Значения информативных  $x_1$ ,  $x_2$  и прогнозируемого  $y$  параметров экземпляров выборки  
**Table.** Values of informative  $x_1$ ,  $x_2$  and predicted  $y$  parameters of sample instances

№ экз.	$x_1$	$x_2$	$y(1000)$	$K_{\text{факт}}$	№ экз.	$x_1$	$x_2$	$y(1000)$	$K_{\text{факт}}$
1	5,2	1,7	54	1	26	5,4	2,7	92	2
2	4,9	1,5	28	1	27	7,5	2,7	114	2
3	4,1	1,45	39	1	28	6,2	2,8	71	2
4	4,7	1,35	32	1	29	4,4	1,7	39	1
5	4,2	1,3	29	1	30	7,2	1,8	56	1
6	5,6	2,2	51	1	31	6,4	2,1	68	2
7	6,5	1,8	46	1	32	3,8	1,1	32	1
8	6,3	1,9	132	2	33	6,9	2,9	69	2
9	4,4	1,5	53	1	34	4,3	1,2	33	1
10	5,1	1,7	55	1	35	5,6	1,6	37	1
11	12,4	3,1	174	2	36	6,9	2,8	82	2
12	3,9	1,7	50	1	37	5,7	2,5	43	1
13	7,5	2,2	76	2	38	6,4	2,5	48	1
14	4,9	1,3	38	1	39	3,8	1,25	23	1
15	3,8	1,2	33	1	40	4,9	1,5	45	1
16	3,5	1,1	28	1	41	9,2	2,8	147	2
17	5,7	1,6	64	2	42	7,4	2,7	135	2
18	6,9	2,9	47	1	43	4,2	1,5	34	1
19	7,1	2,3	82	2	44	7,1	2,8	88	2
20	10,3	2,5	106	2	45	4,9	1,6	77	2
21	4,4	1,9	68	2	46	4,1	1,5	41	1
22	3,8	1,6	44	1	47	3,5	1,1	19	1
23	3,7	1,5	31	1	48	4,7	1,8	44	1
24	11,5	3,2	133	2	49	4,3	1,6	56	1
25	6,5	2,8	85	2	50	5,4	2,6	53	1

параметра является величиной, меньшей граничного значения. В ином случае – экземпляр принадлежит к классу потенциально дефектных изделий.

Линейный регрессионный анализ – один из самых распространенных способов описания связи между параметрами и зависимой величиной. Модель линейной регрессии имеет вид

$$y(x, b) = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k, \quad (1)$$

где  $b_i$  – коэффициенты регрессии;  $x_j$  – регрессоры (параметры);  $k$  – количество регрессоров (параметров). Коэффициенты линейной регрессии  $b_i$  показывают скорость изменения переменной  $y$  по данному параметру при фиксированных остальных параметрах. Таким образом, определение регрессионной модели сводится к поиску коэффициентов  $b_i$ .

Для рассматриваемого случая прогнозная модель для каждого  $j$ -го экземпляра будет иметь вид

$$y^{*(j)}(t_{np}) = B_0 + B_1x_1^{(j)} + B_2x_2^{(j)}, \quad (2)$$

где  $y^{*(j)}(t_{np})$  – оценочное значение  $y$  для  $j$ -го экземпляра к моменту времени  $t_{np}$ ;  $x_1^{(j)}, x_2^{(j)}$  – значение  $x_1$  и  $x_2$  признака  $j$ -го экземпляра;  $B_0, B_1,$

$B_2$  – постоянные коэффициенты регрессионной модели [8].

Метод дискриминантных функций заключается в определении функции, разделяющей пространство признаков на две области, соответствующие двум классам  $K_1$  и  $K_2$ . В рассматриваемом случае два класса соответствуют классу годных ( $K_1$ ) и классу потенциально дефектных изделий ( $K_2$ ). Дискриминантная функция имеет вид [9]:

$$g(x_1, x_2, \dots, x_k) = B_1x_1 + B_2x_2 + \dots + B_kx_k, \quad (3)$$

где  $g(x_1, x_2, \dots, x_k)$  – функция гиперплоскости в гиперпространстве признаков;  $B_k$  – коэффициенты дискриминантной функции;  $x_k$  – признаки (параметры);  $k$  – количество признаков (параметров). Для рассматриваемого случая прогнозная модель имеет вид

$$\Pi_g = y^{*(j)}(t_{np}) + B_1x_1^{(j)} + B_2x_2^{(j)}, \quad (4)$$

где  $\Pi_g$  – порог дискриминантной функции;  $y^{*(j)}(t_{np})$  – оценочное значение  $y$  для  $j$ -го экземпляра к моменту времени  $t_{np}$ ;  $x_1^{(j)}, x_2^{(j)}$  – значение  $x_1$  и  $x_2$  признака  $j$ -го экземпляра;  $B_1, B_2$  – коэффициенты дискриминантной функции.

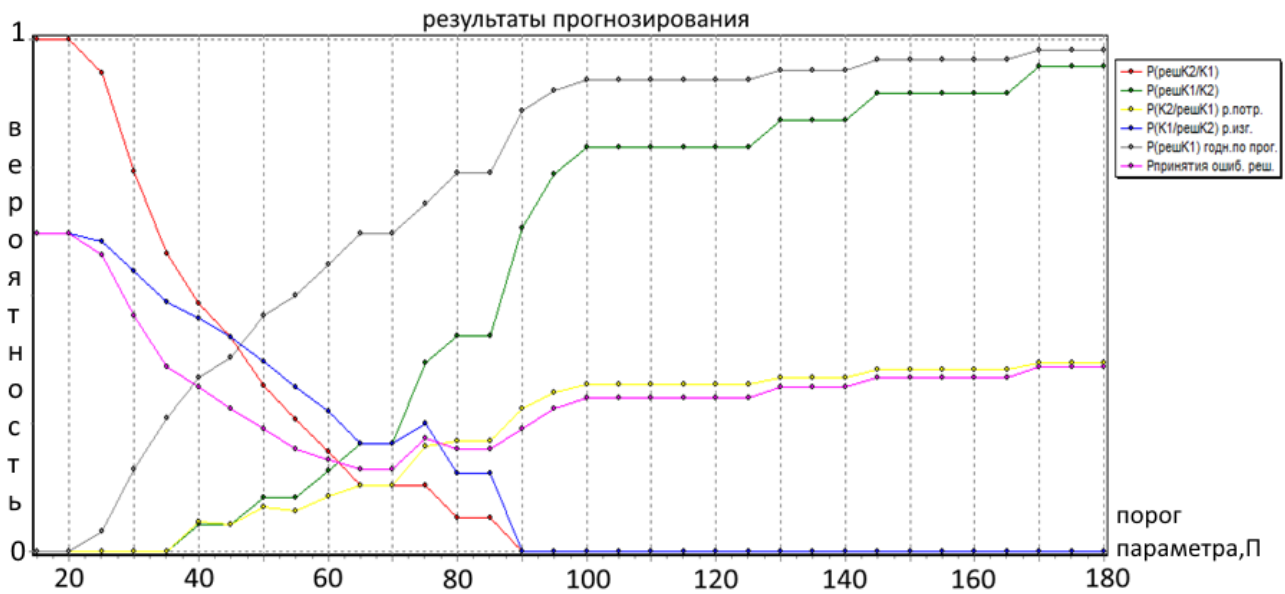


Рис. 1. График зависимости основных вероятностных характеристик от значения порога параметра  
Fig. 1. Graph of dependence of the main probabilistic characteristics on the value of the parameter threshold



Рис. 2. График зависимости основных вероятностных характеристик от значения порога дискриминантной функции  
Fig. 2. Graph of the dependence of the main probabilistic characteristics on the threshold value of the discriminant function

Для рассматриваемой выборки интегральных микросхем индивидуальное прогнозирование с помощью метода регрессионных моделей позволило получить прогнозную модель вида

$$y = -44,56 + 17,62x_1 + 2,98x_2. \quad (5)$$

Изменение основных вероятностных характеристик с изменением порога параметра показано на рис. 1.

Индивидуальное прогнозирование с помощью метода дискриминантных функций позволило получить прогнозную модель вида

$$\Pi_g = y(t_{np}) + 1,08x_1 + 0,91x_2.$$

Изменение основных вероятностных характеристик с изменением порога дискриминантной функции отражено на рис. 2.

Исследование моделей показало, что для оператора индивидуального прогнозирования интегральных микросхем, найденного с помощью метода регрессионных моделей, оптимальное значение порога будет равно  $\Pi = 65$  при значении вероятности принятия ошибочных решений  $P_{ош} = 0,16$ . При этом риск потребителя  $P_{птг.} = 0,129$ ,

риск изготовителя  $P_{\text{изг.}} = 0,211$ . Минимальное значение  $P_{\text{пт. min}} = 0$  наблюдается при  $\Pi = 0 \dots 35$ . При этом  $P_{\text{ош}} = 0,36 \dots 0,62$ ;  $P_{\text{изг.}} = 0,487 \dots 0,62$ .

Для оператора индивидуального прогнозирования интегральных микросхем, найденного с помощью метода дискриминантных функций, оптимальное значение порога будет равно  $\Pi_g = 3,2$  при значении вероятности принятия ошибочных решений  $P_{\text{ош}} = 0,113$ . При этом риск потребителя  $P_{\text{пт.}} = 0,143$ , риск изготовителя  $P_{\text{изг.}} = 0,056$ . Минимальное значение  $P_{\text{пт. min}} = 0$  наблюдается при  $\Pi = 0 \dots 1,2$ . При этом  $P_{\text{ош}} = 0,585$ ;  $P_{\text{изг.}} = 0,585$ .

## Заключение

На основе методов дискриминантных функций и регрессионных моделей с использованием теории распознавания образов построены математические модели для прогнозирования показателей качества и надежности интегральных микросхем серии 564. Проведено исследование данных моделей. Установлено, что оптимальное значение порога дискриминантных функций составляет  $\Pi_g = 3,2$ . При этом обеспечивается вероятность принятия ошибочных решений  $P_{\text{ош}} = 0,113$ . Оптимальное значение порога регрессионной функции составляет  $\Pi = 65$  при вероятности принятия ошибочных решений  $P_{\text{ош}} = 0,165$ .

## Список литературы

1. Электрофизическое диагностирование элементов радиоэлектронной аппаратуры / под ред. В.П. Бережного. М.: ЦНИИ «Электроника», 1990. 304 с.
2. Жаднов В.В. Прогнозирование надежности электронных средств с механическими элементами. Екатеринбург: ООО «Форт Диалог – Исеть», 2014. 172 с.
3. Лучино А.И., Савина А.С. Исследование возможности индивидуального прогнозирования долговечности транзисторов методом распознавания образов // Электронная техника. Сер. 8. 1976. Вып. 10. С. 3–9.
4. Тюлевин С.В., Пиганов М.Н., Еранцева Е.С. К проблеме прогнозирования показателей качества элементов космической аппаратуры // Надежность и качество сложных систем. 2014. № 1 (5). С. 9–17.
5. Mishanov R., Piganov M. Individual forecasting of quality characteristics by an extrapolation method for the stabilitrans and the integrated circuits // The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM 2015): Proceeding XIII international conference. Ukraine: Lviv, 2015. P. 242–244. DOI: <https://doi.org/10.1109/CADSM.2015.7230846>.
6. Сергеев В.А., Юдин В.В. Контроль качества цифровых интегральных микросхем по параметрам матрицы тепловой связи // Известия вузов. Электроника. 2009. № 6. С. 72–78.
7. Устройство для отбраковки полупроводниковых диодов / С.В. Тюлевин [и др.] // Вестник СГАУ. 2014. № 2 (44). С. 68–73.
8. Пиганов М.Н. Индивидуальное прогнозирование показателей качества элементов и компонентов микросборок. М.: Новые технологии, 2002. 267 с.
9. Пестряков В.Б., Андреева В.В. Индивидуальное прогнозирование состояния РЭА с использованием теории распознавания образов: учебное пособие. Куйбышев: КуАИ, 1980. 82 с.

## References

1. *Electrophysical Diagnostics of Elements of Electronic Equipment*. Ed. by V.P. Berezhnoy. Moscow: TsNII «Elektronika», 1990, 304 p. (In Russ.)
2. Zhadnov V.V. *Reliability Prediction of Electronic Devices with Mechanical Elements*. Ekaterinburg: ООО «Fort Dialog – Iset'», 2014, 172 p. (In Russ.)
3. Luchino A.I., Savina A.S. Investigation of the possibility of individual prediction of transistor durability by pattern recognition. *Elektronnaja tehnika. Ser. 8*, 1976, no. 10, pp. 3–9. (In Russ.)
4. Tjulevin S.V., Piganov M.N., Erantseva E.S. To the problem of forecasting the quality indicators of space equipment elements. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnyh sistem*, 2014, no. 1 (5), pp. 9–17. (In Russ.)
5. Mishanov R., Piganov M. Individual forecasting of quality characteristics by an extrapolation method for the stabilitrans and the integrated circuits. *The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM 2015): Proceeding XIII international conference*. Ukraine: Lviv, 2015, pp. 242–244. DOI: <https://doi.org/10.1109/CADSM.2015.7230846>.
6. Sergeev V.A., Judin V.V. Quality control of digital integrated circuits according to the parameters of the thermal communication matrix. *Izvestija vuzov. Elektronika*, 2009, no. 6, pp. 72–78. (In Russ.)
7. Tjulevin S.V. et al. Device for rejection of semiconductor diodes. *Vestnik SGAU*, 2014, no. 2 (44), pp. 68–73. (In Russ.)
8. Piganov M.N. *Individual Forecasting of Quality Indicators of Elements and Components of Microassemblies*. Moscow: Novye tehnologii, 2002, 267 p. (In Russ.)
9. Pestrjakov V.B., Andreeva V.V. *Individual Prediction of the State of Cea Using the Theory of Pattern Recognition: A Training Manual*. Kujbyshev: KuAI, 1980, 82 p. (In Russ.)


## Physics of Wave Processes and Radio Systems

2020, vol. 23, no. 2, pp. 76–80

DOI 10.18469/1810-3189.2020.23.2.76-80

Received 4 February 2020  
Accepted 12 March 2020

### Definition and evaluation of forecast quality models for the integrated circuits with the use of theory of pattern recognition

Katerina S. Erantseva, Mikhail N. Piganov ,  
Roman O. Mishanov, Alina A. Denisyuk

Samara National Research University  
34, Moskovskoye shosse,  
Samara, 443086, Russia

**Abstract** – The paper is devoted to the technique of the forecast models for the integrated circuits of 564 series based on the methods of the theory of pattern recognition. Methods of regression models and discriminant functions were used for the model-building. Analysis of the obtained models was carried out. The optimal threshold values of the discriminant and regression functions were determined. The values of the risk of incorrect decision, producer's risk ( $\alpha$ -risk) and consumer's risk ( $\beta$ -risk) were estimated.

**Keywords** – individual forecasting, integrated circuit, sample, forecast model, method of regression models, method of discriminant functions, probabilistic characteristics.

#### Информация об авторах

**Еранцева Екатерина Сергеевна**, аспирант кафедры конструирования и технологии электронных систем и устройств Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева; инженер второй категории, АО «НИИ “Экран”», г. Самара, Россия.

**Область научных интересов:** прогнозирование показателей качества и надежности радиотехнических систем.

**E-mail:** kipres@ssau.ru

**Пиганов Михаил Николаевич**, доктор технических наук, профессор кафедры конструирования и технологии электронных систем и устройств Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева, г. Самара, Россия.

**Область научных интересов:** надежность и качество бортовых радиоэлектронных средств.

**E-mail:** kipres@ssau.ru, piganov@ssau.ru

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1830-4507>

**Мишанов Роман Олегович**, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры конструирования и технологии электронных систем и устройств Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева; инженер второй категории АО «РКЦ “Прогресс”», г. Самара, Россия.

**Область научных интересов:** кластерный анализ и индивидуальное прогнозирование показателей качества бортовых радиоэлектронных средств.

**E-mail:** mishanov91@bk.ru

**Денисюк Алина Алексеевна**, аспирант кафедры конструирования и технологии электронных систем и устройств Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева, г. Самара, Россия.

**Область научных интересов:** физическое прогнозирование состояния радиоэлектронных средств.

**E-mail:** mikki90210@yandex.ru

#### Information about the Authors

**Katerina S. Erantseva**, postgraduate student of the Department of Design and Technology of Electronic Systems and Devices, Samara National Research University, Samara, Russia; Engineer of the Second Category, JSC SRI «Ekran», Samara, Russia.

**Research interests:** forecasting indicators of quality and reliability of radio engineering systems.

**E-mail:** kipres@ssau.ru

**Mikhail N. Piganov**, Doctor of Engineering, professor of the Department of Design and Technology of Electronic Systems and Devices, Samara National Research University, Samara, Russia.

**Research interests:** reliability and quality of board electrical equipment

**E-mail:** piganov@ssau.ru

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1830-4507>

**Roman O. Mishanov**, Candidate of Technical Sciences, assistant of the Department of Design and Technology of Electronic Systems and Devices, Samara National Research University; Engineer of the Second Category JSC «SRC “Progress”», Samara, Russia.

**Research interests:** cluster analysis and individual forecasting of quality of board electrical equipment.

**E-mail:** mishanov91@bk.ru

**Alina A. Denisyuk**, postgraduate student of the Department of Design and Technology of Electronic Systems and Devices, Samara National Research University, Samara, Russia.

**Research interests:** physical forecasting of the state of electrical equipment.

**E-mail:** mikki90210@yandex.ru