

УДК 629.78+621.382.049.77

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОГНОЗНЫХ МОДЕЛЕЙ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА МИКРОСХЕМ

© 2011 С. В. Тюлевин, А. И. Архипов, М. Н. Пиганов, С. В. Елизаров

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

Предложена методика оценки результатов обучающего эксперимента и эффективности прогнозных моделей. В качестве основных критериев эффективности предложены вероятности правильных и ошибочных решений, риски потребителя и изготовителя. Проводится анализ эффективности математических моделей прогнозирования параметров качества микросхем КМОП типа, используемых в космической аппаратуре.

Прогнозирование, показатели эффективности, микросхема, прогнозная модель, обучающий эксперимент, вероятность ошибки.

Введение

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 [1,2].

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. Однако они не учитывают этапа оценки эффективности прогнозной модели. Проведенные нами исследования показали важность этого этапа и необходимость разработки методики оценки эффективности.

Цель работы - разработка методики оценки и анализ эффективности прогнозной модели на примере параметров качества микросхем с комплементарной МОП-структурой (КМОП типа).

Оценка результатов обучающего эксперимента

Пусть мы имеем выборку элементов, в которой n экземпляров. По результатам обучающего эксперимента мы получили факти-

ческие значения информативного параметра U и прогнозируемого параметра α . Будем считать, что U и α коррелированы. Тогда с учетом [7] построим поле корреляции (рис.1).

Поясним теперь обозначения на рис. 1:

$n(реш.K_1/K_1)$ – число верных решений об отнесении экземпляра, принадлежащего фактически к классу K_1 , к этому же классу; оно равно числу экземпляров, у которых данным обучающего эксперимента $U \leq U_{кл}$ и $\alpha \leq \alpha_{сп}$; это годные экземпляры и по прогнозу они также будут отнесены к годным, т.е. к классу K_1 ; здесь $U_{кл}$ – порог классификации, $\alpha_{сп}$ – граничное значение прогнозируемого параметра.

$n(реш.K_2/K_2)$ – число верных решений об отнесении экземпляра, принадлежащего фактически к классу K_2 , к тому же классу; оно равно числу экземпляров, у которых $U > U_{кл}$ и $\alpha > \alpha_{сп}$; это дефектные экземпляры (класс K_2), и по прогнозу они будут отнесены к дефектным;

$n(реш.K_1/K_2)$ – число ошибочных решений, заключающихся в отнесении экземпляров класса K_2 в K_1 ; его обозначают также $n(K_2/реш.K_1)$, оно равно числу экземпляров, у которых $U \leq U_{кл}$ и $\alpha > \alpha_{сп}$; это фактически дефектные экземпляры (класс K_2), но по прогнозу они будут отнесены к годным (класс K_1), так как у них $U \leq U_{кл}$;

$n(реш.K_2/K_1)$ – число ошибочных решений, заключающихся в отнесении экземпляров класса K_1 в K_2 ; его обозначают также $n(K_1/реш.K_2)$; оно равно числу экземпляров, у которых $U > U_{кл}$ и $\alpha \leq \alpha_{сп}$; это фактически годные экземпляры (класс K_1), но по прогнозу они будут отнесены к дефектным (класс K_2), так как у них $U > U_{кл}$. Обозначим далее $n(K_1)$, $n(K_2)$ – число экземпляров, фактически принадлежащих к классу K_1 и K_2 соответственно, при этом их сумма равна числу экземпляров, используемых в обучающем эксперименте, $n(K_1) + n(K_2) = n$;

$n(реш.K_1)$, $n(реш.K_2)$ – общее число решений, принимаемых об отнесении экземпляров соответственно к классу K_1 и K_2 по прогнозу, при этом

$$n(реш.K_1) + n(реш.K_2) = n.$$

Для введенных характеристик справедливо соотношение:

$$n(K_1) = n(K_1/реш.K_1/K_1) + n(реш.K_2/K_1);$$

$$n(K_2) = n(K_1/реш.K_1/K_2) + n(реш.K_2/K_2);$$

$$n(реш.K_1) = n(K_1/реш.K_1/K_1) + n(реш.K_1/K_2);$$

$$n(реш.K_2) = n(реш.K_2/K_1) + n(реш.K_2/K_2).$$

Следуя принятым соотношениям, имеем риск потребителя –

$$P_{nm} = P(K_2 / решK_1) = \frac{n(K_2 / решK_1)}{n(решK_1)},$$

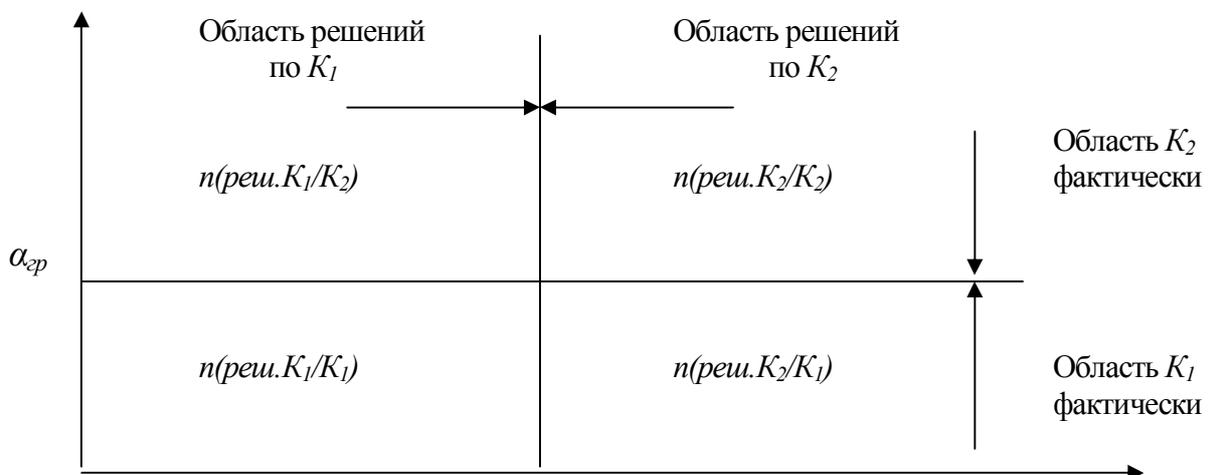


Рис. 1. Поле корреляции

U

риск изготовителя –

$$P_u = P(K_1 / \text{реш}K_2) = \frac{n(K_1 / \text{реш}K_2)}{n(\text{реш}K_1)},$$

условные вероятности принятия ошибочных решений –

$$P(\text{реш}K_1 / K_2) = \frac{n(\text{реш}K_1 / K_2)}{n(K_2)},$$

$$P(\text{реш}K_2 / K_1) = \frac{n(\text{реш}K_2 / K_1)}{n(K_1)},$$

априорные вероятности принадлежности экземпляра к классу K_1 (вероятность оказаться годным любого, наугад взятого экземпляра) – $P(K_1) = n(K_1)/n$

и к классу K_2 (вероятность оказаться дефектным любого, наугад взятого экземпляра) – $P(K_2) = n(K_2)/n$.

Априорные вероятности принятия решений об отнесении экземпляра к классу K_1 – $P(\text{реш}K_1) = n(\text{реш}K_1)/n$ и к классу K_2 – $P(\text{реш}K_2) = n(\text{реш}K_2)/n$.

Если качество прогнозирования необходимо оценить каким-либо одним показателем, учитывающим одновременно ошибки того или другого вида, можно использовать вероятность ошибки

$$P_o = \frac{n(\text{реш}K_1 / K_2) + n(\text{реш}K_2 / K_1)}{n}$$

и вероятность принятия правильных решений (её называют также эффективностью распознавания):

$$P_n = 1 - P_o = \frac{n(\text{реш}K_1 / K_1) + n(\text{реш}K_2 / K_2)}{n}.$$

Значение $U_{кл}$ должно быть выбрано таким, чтобы вероятности ошибочных решений не превышали заданного допустимого уровня.

Величина порога может быть определена путем просчёта нескольких вариантов и выбором такого $U_{кл}$, при котором требования, заданные относительно величин P_o или $(K_2/\text{реш}K_1)$, выполняются. Если этим требованиям не удастся удовлетворить ни при каком значении $U_{кл}$, следует попытаться использовать большее число параметров либо найти более информативные параметры.

Анализ эффективности прогнозных моделей

По результатам обучения были построены прогнозные модели надежности микросхем методами регрессионных и дискриминантных функций в следующем виде:

$$\frac{\Delta I_{\dot{o}\dot{o}}}{I_{\dot{o}\dot{o}}} = -31,35 + 28,46 t_p^+ - 47,26 U_{\dot{o}\dot{o}.i}; \quad (1)$$

$$\dot{I}_a = \frac{\Delta I_{\dot{o}\dot{o}}}{I_{\dot{o}\dot{o}}} + 0,9 t_p^+ + 0,53 U_{\dot{o}\dot{o}.i}, \quad (2)$$

где $\frac{\Delta I_{ym}}{I_{ym}}$ – дрейф тока утечки (прогнозируе-

мый параметр); t_p^+ – время задержки по переднему фронту импульса на 4-ом выводе микросхемы; $U_{\dot{o}\dot{o}.i}$ – критическое напряжение питания; Π_o – порог дискриминантной функции.

Проведем исследование и анализ данных моделей и оценим их эффективность по приведенным выше критериям. Во многих случаях достаточно использовать четыре критерия оценки: P_n , P_o , P_u , P_{nm} . Поэтому проведем анализ по этим критериям.

На рис. 2 приведена зависимость вероятностных характеристик от порога регрессионной модели Π_p для КМОП микросхем. Из рис. 2 видно, что оптимальным порогом регрессионной модели для КМОП микросхем будет $\Pi_p = 35$. При этом $P_o = 0,16$; $P_{nm} = 0,13$; $P_u = 0,2$. Минимальное значение $P_{nm} = 0$ будет при $\Pi_p = 0 \dots 20$. При этом $P_o = 0,56 \dots 0,36$; $P_u = 0,58 \dots 0,47$. Минимальное значение риска изготовителя $P_u = 0$ будет при $\Pi_p = 64 \dots 100$. При этом $P_o = 0,26 \dots 0,36$; $P_{nm} = 0,3 \dots 0,38$.

На рис. 3 приведена зависимость вероятностных характеристик от порога дискриминантной функции для того же типа микросхем. Как видно из рис. 3, оптимальным порогом дискриминантной функции будет $\Pi_g = 18$, так как при этом значении мы имеем минимальное значение вероятности принятия ошибочных решений $P_o = 0,16$. При этом $P_{nm} = 0,25$, а $P_u = 0,12$. Из этого рисунка следует, что минимальное значение риска изготовителя $P_u = 0$ будет при $\Pi_g = 38$. При этом $P_o = 0,63$, а $P_{nm} = 0,67$. Минимальное значение риска потребителя $P_{nm} = 0,25$ соответствует $\Pi_g = 18$. При этом $P_o = 0,16$, а $P_u = 0,12$.

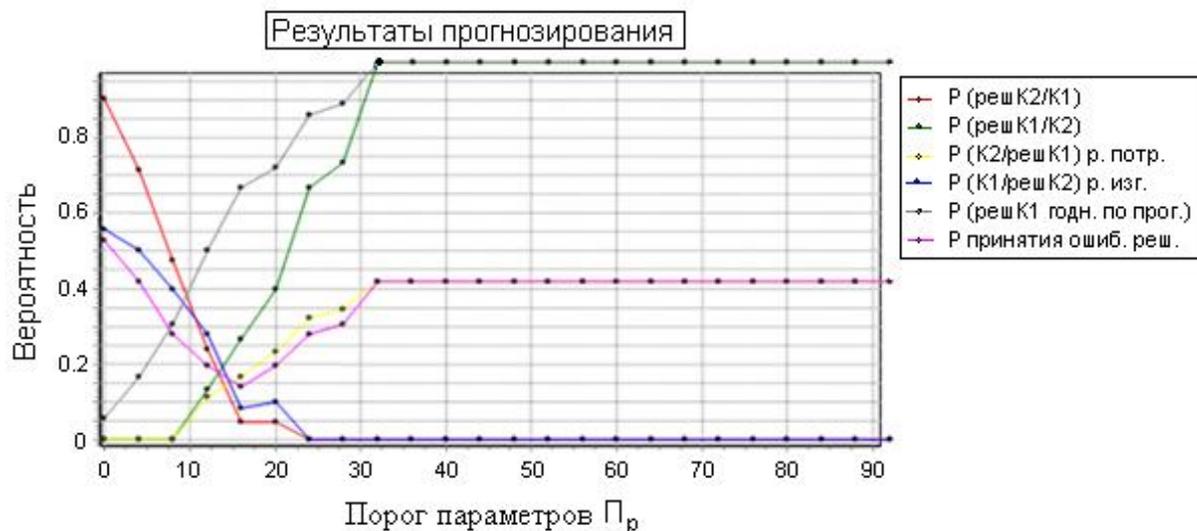


Рис. 2. Влияние порога Π_p на характеристики эффективности прогнозной модели для КМОП микросхем

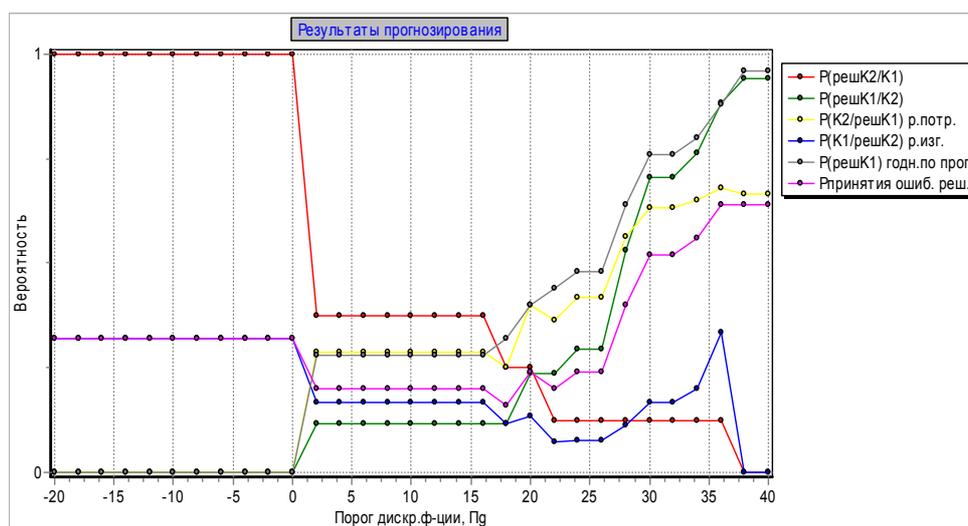


Рис. 3. Влияние порога Π_d на характеристики эффективности прогнозной модели для КМОП микросхем

Выводы

1. Предложена методика оценки эффективности прогнозных моделей надежности электрорадиоизделий по вероятностным характеристикам.

2. Проведены исследование и анализ прогнозных моделей надежности микросхем КМОП типа и оценена их эффективности. Предложенная методика позволяет снизить риск потребителя до нуля, что важно для космической аппаратуры.

Библиографический список

1. Кейджян, Г. А. Прогнозирование надежности микроэлектронной аппаратуры на основе БИС [Текст] / Г. А. Кейджян. – М.: Радио и связь, 1987. – 152 с.
2. Гаскаров, Д. В. Прогнозирование технического состояния и надежности радиоэлектронной аппаратуры [Текст] / Д. В. Гаскаров, Т. А. Голинкевич, А. В. Мозгалевский. – М.: Сов. Радио, 1974. – 224 с.

3. Пиганов, М. Н. Индивидуальное прогнозирование показателей качества элементов и компонентов микросборок [Текст] / М. Н. Пиганов. – М.: Новые технологии, 2002. – 267с.

4. Пиганов, М. Н. Прогнозирование надежности радиоэлектронных средств [Текст] / 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 парамет-

ров космической аппаратуры [Текст] / 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 [Текст] / М. Н. Пиганов. – Самара: СГАУ, 1999. – 160 с.

7. Пиганов, М. Н. Технологические основы обеспечения качества микросборок [Текст] / М. Н. Пиганов. – Самара: СГАУ, 1999. – 231 с.

ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF PREDICTIVE MODELS OF QUALITY PARAMETERS OF THE CHIPS

© 2011 S. V. Tyulevin, A. I. Arhipov, M. N. Piganov, S. V. Elizarov

Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov
(National Research University)

The paper proposed a method for evaluating the effectiveness of teaching experiments and predictive models. The main performance criteria proposed by the probability of correct and erroneous decisions, the risks of the consumer and the manufacturer. Analysis of the mathematical models effectiveness to predict quality parameters such as CMOS chips was carried out for space instrumentation devices.

Forecasting, performance, chip, predictive model, the learning experiment, the probability of error.

Информация об авторах

Тюлевин Сергей Викторович, доцент кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств, кандидат технических наук, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: kipres@ssau.ru. Область научных интересов: надёжность и качество космических радиоэлектронных средств.

Архипов Александр Иванович, аспирант кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: kipres@ssau.ru. Область научных интересов: надёжность электронных узлов.

Пиганов Михаил Николаевич, заведующий кафедрой конструирования и производства радиоэлектронных средств, доктор технических наук, профессор, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: piganov@ssau.ru. Область научных интересов: надёжность и качество радиоэлектронных средств.

Елизаров Сергей Викторович, аспирант кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: kipres@ssau.ru. Область научных интересов: программное обеспечение прогнозирования надёжности электронных узлов.

Tyulevin Sergei Viktorovich, assistant professor of design and production of radio-electronic means Ph.D., Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolev (National Research University). E-mail: kipres@ssau.ru. Research interests: quality and reliability of space-based radio-electronic means.

Arhipov Aleksandr Ivanovich, P.G. of design and manufacture of electronic resources Department, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolev (National Research University). E-mail: kipres@ssau.ru. Research interests: the reliability of electronic components.

Piganov Mikhail Nikolaevich, Head of design and manufacture of electronic means, doctor of technical sciences Department, professor, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolev (National Research University). E-mail: piganov@ssau.ru. Research interests: quality and reliability of radio electronic equipment.

Elizarov Sergei Nikolaevich, post-graduate student of design and manufacture of electronic resources Department, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolev (National Research University). E-mail: kipres@ssau.ru. Research interests: software reliability prediction of electronic components.