

## К ПРОБЛЕМЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕМЕНТОВ КОСМИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

С. В. Тюлевин, М. Н. Пиганов, Е. С. Еранцева

### *Введение*

Современный этап развития радиоэлектроники и телекоммуникационных систем характеризуется обострением проблемы надежности и качества в целом вследствие усложнения радиоэлектронных средств (РЭС), выражающимся 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 трудноуловяемых 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. 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).

### *Выбор методов индивидуального прогнозирования*

Учитывая большое разнообразие методов индивидуального прогнозирования, была поставлена задача выбора минимального их количества с учетом эффективности и удовлетворения заданным требованиям.

Сделать правильный выбор силами исследователя за короткое время не всегда представляется возможным. В связи с этим в данной работе был использован метод экспертных оценок. За основу была взята методика [7, 8], в которой используется непосредственная оценка, а также возможны разбивка факторов на группы, ранжирование групп факторов и внутригрупповое ранжирование. Основой методики является метод Дельфы. Выбор экспертов проводился с учетом областей их научно-технических интересов и дополнительных критериев [9, 10].

Выбор производился из 18 потенциально пригодных для нашего случая методов. Они приведены в табл. 1 и обозначены с М1 по М18.

Результаты первого тура опроса приведены в табл. 2. Как видно из таблицы, значения коэффициентов вариации для большинства факторов  $M_i$  превышают допустимые значения. Был проведен второй тур опроса. Его результаты приведены в табл. 3. Из нее следует, что сходимость оценок значительно улучшилась. Было принято решение ограничиться вторым туром опроса. Таким образом, было отобрано восемь методов, для которых среднее значение оценки превысило 50 баллов. Эти методы в ранжированном порядке приведены в табл. 4.

Таблица 1

## Методы индивидуального прогнозирования

| Обозначение | Метод                                         |
|-------------|-----------------------------------------------|
| М1          | Метод потенциальных функций                   |
| М2          | Обучающий эксперимент                         |
| М3          | Метод пороговой логики                        |
| М4          | Оптимальная классификация                     |
| М5          | На основе теории игр                          |
| М6          | Классификация по одному признаку              |
| М7          | Метод генерации прогнозных альтернатив        |
| М8          | Оптимальная оценка                            |
| М9          | Индивидуальная функция состояния              |
| М10         | Временные ряды                                |
| М11         | Метод правдоподобия                           |
| М12         | Экстраполяция                                 |
| М13         | Корреляционный метод                          |
| М14         | Метод машинных испытаний                      |
| М15         | Метод регрессионных моделей                   |
| М16         | Обучающий эксперимент с оценкой исследователя |
| М17         | Метод дискриминантных функций                 |
| М18         | Эвристический метод                           |

Таблица 2

## Оценка методов индивидуального прогнозирования. Результаты 1-го тура опроса

| Фактор | Среднее | СКО   | Коэффициент вариации |
|--------|---------|-------|----------------------|
| М1     | 71,50   | 20,70 | 29,00                |
| М2     | 50,80   | 27,40 | 54,00                |
| М3     | 42,10   | 26,80 | 53,50                |
| М4     | 44,00   | 27,30 | 62,00                |
| М5     | 29,70   | 18,00 | 67,70                |
| М6     | 35,50   | 20,90 | 58,90                |
| М7     | 24,50   | 15,90 | 65,20                |
| М8     | 27,30   | 14,20 | 52,00                |
| М9     | 51,40   | 22,70 | 44,20                |
| М10    | 54,30   | 18,90 | 34,90                |
| М11    | 58,30   | 11,80 | 20,20                |
| М12    | 60,70   | 17,90 | 29,40                |
| М13    | 63,10   | 21,30 | 33,80                |
| М14    | 57,70   | 24,70 | 42,80                |
| М15    | 65,70   | 13,30 | 20,20                |
| М16    | 61,30   | 21,70 | 35,30                |
| М17    | 74,20   | 18,00 | 24,20                |
| М18    | 67,30   | 24,80 | 36,90                |

Таблица 3

Оценка методов индивидуального прогнозирования. Результаты 2-го тура опроса

| Фактор | Среднее | СКО   | Коэффициент вариации |
|--------|---------|-------|----------------------|
| M1     | 73,27   | 12,25 | 16,72                |
| M2     | 51,00   | 15,73 | 30,85                |
| M3     | 38,20   | 12,52 | 32,78                |
| M4     | 36,33   | 13,33 | 36,70                |
| M5     | 24,33   | 6,40  | 26,32                |
| M6     | 32,73   | 8,22  | 25,10                |
| M7     | 23,00   | 6,34  | 27,54                |
| M8     | 21,60   | 9,51  | 44,04                |
| M9     | 42,20   | 13,80 | 32,70                |
| M10    | 48,93   | 15,65 | 31,98                |
| M11    | 49,73   | 16,81 | 33,80                |
| M12    | 53,00   | 19,32 | 36,46                |
| M13    | 52,33   | 19,29 | 36,87                |
| M14    | 43,33   | 17,52 | 40,43                |
| M15    | 64,67   | 11,55 | 17,86                |
| M16    | 60,47   | 13,00 | 21,50                |
| M17    | 70,53   | 13,72 | 19,45                |
| M18    | 58,07   | 19,84 | 34,17                |

Таблица 4

Рекомендуемые методы индивидуального прогнозирования РЭС

| Обозначение | Метод                                         |
|-------------|-----------------------------------------------|
| M1          | Метод потенциальных функций                   |
| M17         | Метод дискриминантных функций                 |
| M15         | Метод регрессионных моделей                   |
| M16         | Обучающий эксперимент с оценкой исследователя |
| M18         | Эвристический метод                           |
| M12         | Экстраполяция                                 |
| M13         | Корреляционный метод                          |
| M2          | Обучающий эксперимент                         |

### *Методика обучающего эксперимента*

Обучающий эксперимент – это испытание в заданном режиме определенного количества исследуемых изделий в течение требуемого времени, обычно равного времени последующего прогнозирования  $t_{пр}$ , и определение фактического состояния каждого экземпляра выборки к моменту окончания испытания. Цель обучающего эксперимента состоит в получении необходимого массива исходных данных, т.е. такого массива, который требуется для последующего обучения [3]. Методические основы обучающего эксперимента для электрорадиоизделий (ЭРИ) космических РЭС до настоящего времени не разработаны. Экспериментатор ориентируется, в основном, на свой опыт и интуицию.

В данной работе была использована новая методика обучающего эксперимента для ЭРИ космических РЭС [11].

Можно выделить семь основных этапов этой методики:

- 1) анализ конструктивно-технологических особенностей ЭРИ и РЭС;
- 2) разработка или уточнение схем включения для контроля их работоспособности и измерения основных параметров;
- 3) выбор методов и средств контроля информативных параметров;
- 4) определение объема выборки;
- 5) разработка программы исследовательских испытаний;

- 6) проведение исследовательских испытаний и экспериментов;
- 7) анализ результатов испытаний и экспериментов.

Основой обучающего эксперимента являются исследовательские испытания. Они позволяют выявить уровень деградации, виды отказов ЭРИ, понять их механизм, определить факторы, ускоряющие деградацию, количество отказавших образцов. По их результатам мы определяем информативные параметры, которые будут использованы при построении оператора прогнозирования. Кроме того, они дают информацию о запасах устойчивости РЭС, резервах их качества, недостатках методики испытаний. Эти испытания приводятся по программе, согласованной с заинтересованными организациями и подразделениями. В нашем случае ряд интегральных воздействий был согласован с центральными бюро применения. При этом должны соблюдаться требования техники безопасности.

По результатам испытаний делается вывод о соответствии выборки требованиям построения оператора прогнозирования с учетом достаточности образцов каждого класса качества, проводится корреляционный анализ влияния уровня информативных параметров на показатели надежности. Затем выполняется физико-технический анализ отказавших образцов. В нашем случае он предусматривал проведение первичного, углубленного и полного анализа. Первичный анализ включал установление проявлений и признаков отказа РЭС, поиск отказавшего блока, узла, элемента и исследование их неразрушающими методами [12]. Углубленный анализ предусматривал исследование методами физического, физико-химического и технического анализа после вскрытия отказавшего ЭРИ и удаления защитных покрытий без полного разрушения составных частей. Полный анализ проводился с использованием разрушающих методов и состоял в исследовании химического состава, структуры и свойств материалов отказавшего ЭРИ.

Данная методика дает приемлемые для разработки оператора прогнозирования результаты для двух классов качества ЭРИ и внедрена в ФГУП «ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс».

### Оценка результатов обучающего эксперимента

Пусть мы имеем выборку элементов, в которой  $n$  экземпляров. По результатам обучающего эксперимента мы получили фактические значения информативного параметра  $U$  и прогнозируемого параметра  $\alpha$ . Будем считать, что  $U$  и  $\alpha$  коррелированы. Тогда с учетом [13] построим поле корреляции (рис. 1).

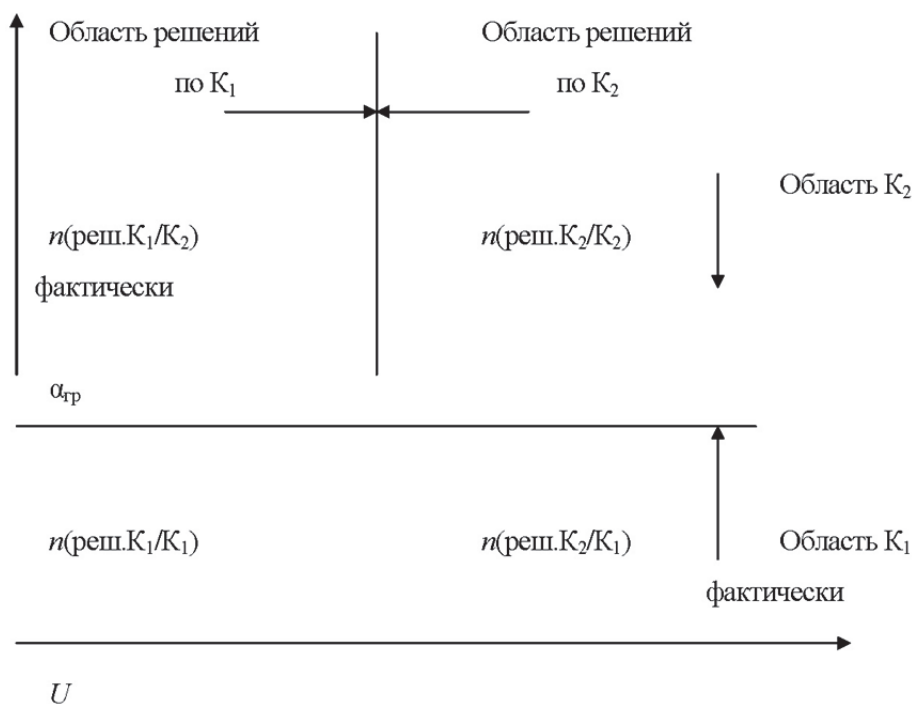


Рис. 1. Поле корреляции

Поясним теперь обозначения на рис. 1:

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

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

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

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

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

Для введенных характеристик справедливы соотношения:

$$n(K_1) = n(K_1/\text{реш.}K_1/K_1) + n(\text{реш.}K_2/K_1);$$

$$n(K_2) = n(K_1/\text{реш.}K_1/K_2) + n(\text{реш.}K_2/K_2);$$

$$n(\text{реш.}K_1) = n(K_1/\text{реш.}K_1/K_1) + n(\text{реш.}K_1/K_2);$$

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

Следуя принятым соотношениям, имеем риск потребителя

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

риск изготовителя:

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

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  $K_1$ :

$$P(\text{реш.}K_1) = n(\text{реш.}K_1)/n \text{ и к классу } K_2 - P(\text{реш.}K_2) = n(\text{реш.}K_2)/n.$$

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 (ее называют также эффективностью распознавания):

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

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

Величина порога может быть определена путем просчета нескольких вариантов и выбором такого  $U_{\text{кл}}$ , 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  $U_{\text{кл}}$ , следует попытаться использовать большее число параметров либо найти более информативные параметры [14].

### *Анализ эффективности прогнозных моделей*

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

$$\frac{\Delta I_{\text{ут}}}{I_{\text{ут}}} = -31,35 + 28,46t_p^+ - 47,26U_{\text{кр.п}}; \quad (1)$$

$$P_d = \frac{\Delta I_{\text{ут}}}{I_{\text{ут}}} + 0,9t_p^+ + 0,53U_{\text{кр.п}}, \quad (2)$$

где  $\frac{\Delta I_{\text{ут}}}{I_{\text{ут}}}$  – дрейф тока утечки (прогнозируемый параметр);  $t_p^+$  – время задержки по переднему

фронту импульса на 4-м выводе микросхемы;  $U_{\text{кр.п}}$  – критическое напряжение питания;

$P_d$  – 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:  $P_{\Pi}$ ,  $P_o$ ,  $P_{\Pi}$ ,  $P_{\Pi}$ . Поэтому проведем анализ по этим критериям.

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

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  $P_g = 18$ , так как при этом значении мы имеем минимальное значение вероятности принятия ошибочных решений  $P_o = 0,16$ . При этом  $P_{\Pi} = 0,25$ , а  $P_{\Pi} = 0,12$ . Из этого рисунка следует, что минимальное значение риска изготовителя  $P_{\Pi} = 0$  будет при  $P_g = 38$ . При этом  $P_o = 0,63$ , а  $P_{\Pi} = 0,67$ . Минимальное значение риска потребителя  $P_{\Pi} = 0,25$  соответствует  $P_g = 18$ . При этом  $P_o = 0,16$ , а  $P_{\Pi} = 0,12$ .

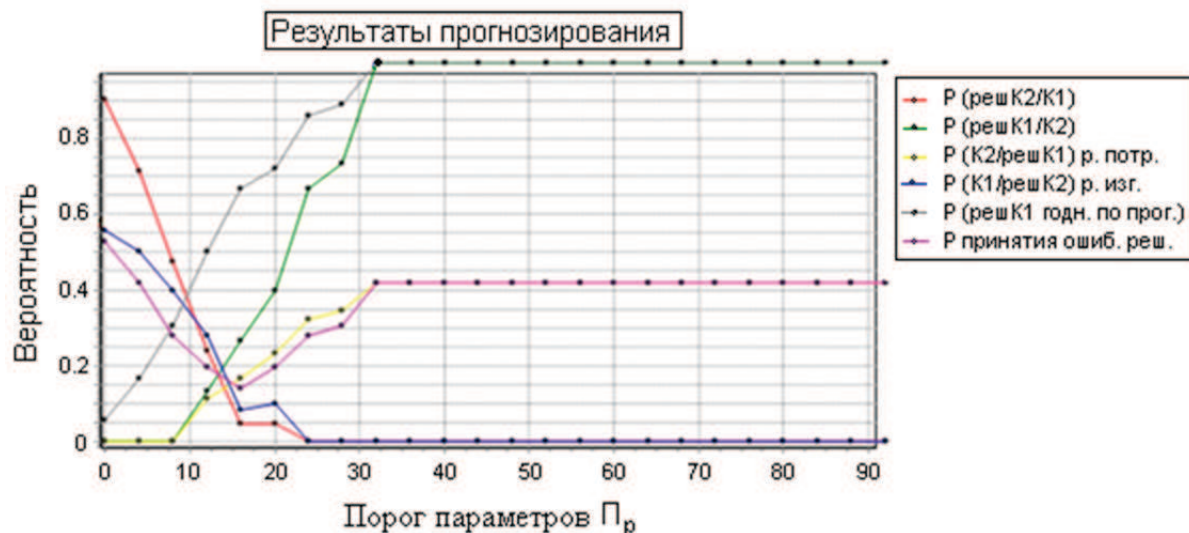


Рис. 2. Влияние порога регрессионной модели  $\Pi_p$  на характеристики эффективности прогнозной модели для КМОП микросхем

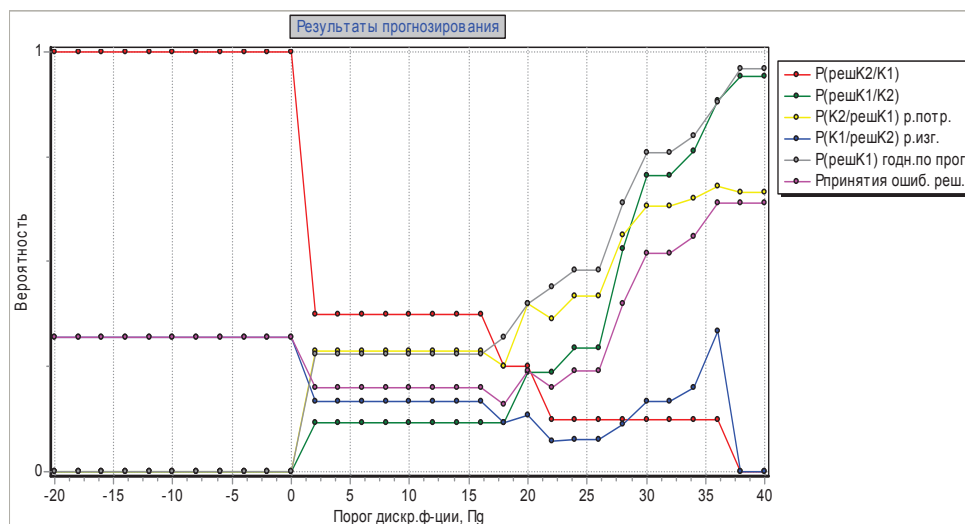


Рис. 3. Влияние порога дискриминантной функции  $\Pi_d$  на характеристики эффективности прогнозной модели для КМОП микросхем

### Выводы

1. На основе метода экспертных оценок сделан выбор наиболее эффективных методов индивидуального прогнозирования показателей качества РЭС.
2. Апробирована новая методика обучающего эксперимента для ИП РЭС.
3. Предложена методика оценки эффективности прогнозных моделей надежности электро-радиоизделий по вероятностным характеристикам.
4. Проведены исследование и анализ прогнозных моделей надежности микросхем КМОП типа и оценена их эффективность. Предложенная методика позволяет снизить риск потребителя до нуля, что важно для космической аппаратуры.

### Список литературы

1. Абрамов, О. В. Алгоритм оценки и прогнозирования остаточного ресурса сложных технических систем / О. В. Абрамов // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2013. – Т. 1. – С. 5–6.
2. Жаднов, В. В. Анализ моделей прогнозирования и расчета надежности комплектующих элементов бортовой электронной аппаратуры / В. В. Жаднов // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 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. Н. Пиганов. – 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 / М. Н. Пиганов. – Самара : СГАУ, 1999. – 160 с.
7. Тюлевин, С. В. Выбор методов индивидуального прогнозирования показателей качества РЭС на основе экспертных оценок / С. В. Тюлевин, И. Н. Козлова // Современные направления теоретических и прикладных исследований – 2009 : сб. науч. тр. – Одесса, 2009. – Т. 4. – С. 52–56.
8. Пиганов, М. Н. Экспертные оценки в управлении качеством радиоэлектронных средств : учеб. пособие / М. Н. Пиганов, Г. А. Подлипов. – Самара : СГАУ, 2004. – 122 с.
9. Пиганов, М. Н. Методика экспертной оценки качества испытаний микросборок / М. Н. Пиганов, А. Н. Худяков // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2001. – С. 332–334.
10. Пиганов, М. Н. Оптимизация контроля качества микросборок на основе экспертных оценок / М. Н. Пиганов // Сертификация и управление качеством : материалы 2-й Междунар. науч.-техн. конф. – Брянск, 2002. – С. 178–180.
11. Тюлевин, С. В. Методика обучающего эксперимента при индивидуальном прогнозировании показателей качества космических РЭС / С. В. Тюлевин, М. Н. Пиганов // Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций : материалы Всерос. науч.-техн. конф. (г. Самара, 13–15 мая 2008 г.). – Самара : Изд-во СГАУ, 2008. – С. 239–253.
12. Затылкин, А. В. Алгоритм проведения проектных исследований радиотехнических устройств опытно-теоретическим методом / А. В. Затылкин, И. И. Кочегаров, Н. К. Юрков // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2012. – Т. 1. – С. 365–366.
13. Пиганов, М. Н. Технологические основы обеспечения качества микросборок / М. Н. Пиганов. – Самара : СГАУ, 1999. – 231 с.
14. Лысенко, А. В. Способ снижения величины вибрационных нагрузок в несущих конструкциях ЭС и методика, его реализующая / А. В. Лысенко // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 4. – С. 41–44.

#### УДК 621.382

*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(5). – С. 9–17.

**Тюлевин Сергей Викторович**

кандидат технических наук,  
первый заместитель генерального директора –  
главный инженер,  
Государственный научно-производственный  
ракетно-космический центр «ЦСКБ-Прогресс»,  
(443009, Россия, г. Самара, ул. Земеца, 18)  
(846)955-13-61  
E-mail : mail@samspace.ru

**Пиганов Михаил Николаевич**

доктор технических наук, профессор,  
кафедра конструирования  
и технологии электронных систем и устройств,  
Самарский государственный аэрокосмический  
университет им. академика С. П. Королева  
(национальный исследовательский университет),  
(443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34)  
(846) 267-44-61  
E-mail: piganov@ssau.ru

**Tyulevin Sergey Viktorovich**

candidate of technical sciences,  
first deputy general director – chief engineer,  
State research and production space rocket center  
«Samara Space Center»,  
(443009, 18 Zemetsa street, Samara, Russia)

**Piganov Mikhail Nikolaevich**

doctor of technical sciences, professor,  
sub-department of construction and technology  
of electronic systems and devices,  
Samara State Aerospace University  
named after academician S. P. Korolev,  
(443086, 34 Moscow highway, Samara, Russia)

**Еранцева Екатерина Сергеевна**

студент,

Самарский государственный

аэрокосмический университет

им. академика С. П. Королева

(национальный исследовательский университет),

(443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34)

(846) 267-44-61

E-mail: erantseva.e@mail.ru

**Аннотация.** Приведены причины повышения требований к точности и эффективности выполнения заданных функций радиоэлектронными средствами как системой в целом, так и каждым отдельным ее элементом. Традиционные методы испытаний аппаратуры во многих случаях не позволяют подтвердить заданный уровень ее надежности и качества из-за наличия ряда трудновывяляемых скрытых дефектов. Приведен перспективный метод оценки надежности и качества радиоэлектронных средств и электрорадиоизделий, основанный на прогнозировании их будущего состояния.

**Ключевые слова:** радиоэлектронное средство, надежность, отказы, индивидуальное прогнозирование, моделирование.

**Erantseva Ekaterina Sergeevna**

student,

Samara State Aerospace University

named after academician S. P. Korolev,

(443086, 34 Moscow highway, Samara, Russia)

**Abstract.** Are the reasons for increases in requirements for accuracy and effectiveness of the specified functions, electronic means as the system as a whole and each of its element. Traditional methods of testing equipment in many cases does not allow to confirm the level of its reliability and quality due to the presence of several hidden defects. Are promising method for assessing the reliability and quality of radio-electronic means and radio components of the following, based on the prediction of their future state.

**Key words:** radio-electronic means, reliability, failures, individual forecasting, modeling.