

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЁЖНОСТИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ В СПРАВОЧНИКАХ РОССИИ, США, ФРАНЦИИ

Бондарев В.Н.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель: Боровиков С.М. – канд.техн.наук, доцент*

**Аннотация.** Проанализированы модели прогнозирования эксплуатационной надёжности печатных плат, приводимые в справочниках следующих стран: Россия, США, Франция. Установлено, что в справочниках этих стран использованы разные модели безотказности печатных плат, что приводит к результатам, существенно отличающимся по значениям. Сделаны рекомендации по выбору модели, предположительно обеспечивающей более достоверные результаты.

**Ключевые слова:** печатная плата, надёжность, интенсивность отказов, справочник, модель прогнозирования безотказности.

**Введение.** Условия эксплуатации электронной аппаратуры обуславливают современные тенденции миниатюризации электронных устройств и повышенные требования к их безотказной работе. Миниатюризация электронных устройств приводит к увеличению плотности поверхностного монтажа, снижению ширины проводников и зазоров, уменьшению диаметров межслойных отверстий печатных плат (ПП). При воздействии термических и механических напряжений на зазоры между проводниками, могут возникать отслоения проводящего рисунка ПП, и в результате может возникнуть отказ электронного модуля (печатного узла). Поэтому оценке и обеспечению надёжности ПП следует уделять особое внимание.

В данной работе с использованием справочников России, США и Франции выполнен анализ моделей прогнозирования эксплуатационной надёжности ПП и определена модель, предположительно обеспечивающая более высокую достоверность прогнозных показателей надёжности ПП результатам их реальной эксплуатации в составе электронных устройств.

**Основная часть.** Модель прогнозирования надёжности ПП со сквозными металлизированными отверстиями в справочнике России имеет вид [1]

$$\lambda_{\text{Э}} = \lambda_{\text{Б}} [N_1 K_{\text{сл}} + N_2 (K_{\text{сл}} + 13)] K_t K_{\text{Э}} K_{\text{П}}. \quad (1)$$

Описания параметров модели (1) приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры модели прогнозирования, включённой в справочник России

Параметр	Пояснение
$\lambda_{\text{Э}}$	Эксплуатационная интенсивность отказов печатной платы
$\lambda_{\text{Б}}$	Значения базовой интенсивности отказов в зависимости от технологии межсоединений (печатный монтаж, навесной монтаж)
$K_t$	Коэффициент, зависящий от температуры печатной платы
$K_{\text{Э}}$	Коэффициент эксплуатации, зависящий от жёсткости условий эксплуатации печатной платы в составе электронного устройства
$K_{\text{П}}$	Коэффициент приёмки, учитывающий степень жёсткости требований к контролю качества и правила приёмки печатных плат в условиях их производства
$K_{\text{сл}}$	Коэффициент, учитывающий количество слоёв в печатной плате
$N_1$	Количество сквозных отверстий, пропаянных способом «пайка волной»
$N_2$	Количество сквозных отверстий, пропаянных ручным способом

Согласно справочнику России, модель расчёта эксплуатационной интенсивности отказов ПП из важнейших факторов учитывает количество слоёв печатной платы и количество металлизированных отверстий. Модель совершенно не принимает во внимание габаритные размеры ПП и ширину контактных дорожек (печатных проводников).

Эксплуатационная интенсивность отказов  $\lambda_p$  рассчитывается по формуле [2]

$$\lambda_p = \lambda_b [N_1 \pi_c + N_1 (\pi_c + 13)] \pi_Q \pi_E. \quad (2)$$

Описания параметров модели (2) приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры модели прогнозирования, приводимой в справочнике США

Параметр	Пояснение
$\lambda_p$	Эксплуатационная интенсивность отказов печатной платы
$\lambda_b$	Значения базовой интенсивности отказов в зависимости от технологии межсоединений (печатный монтаж, навесной монтаж). Принимают для одного соединения: для печатного монтажа $\lambda_b = 0,000017 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$ , для навесного монтажа $\lambda_b = 0,00011 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$
$\pi_E$	Коэффициент, зависящий от жёсткости условий эксплуатации ПП в составе электронного устройства
$\pi_Q$	Коэффициент качества, учитывающий степень жёсткости требований к контролю качества печатных плат в условиях их изготовления
$\pi_c$	Коэффициент, учитывающий количество слоёв в печатной плате
$N_1$	Количество сквозных отверстий, пропаянных автоматизированным способом
$N_2$	Количество сквозных отверстий, пропаянных ручным способом

Отметим, что модель вида (1) следует рассматривать как аналог модели (2). Модель (1) заимствована из справочника США [2] по расчёту надёжности электронного оборудования и адаптирована к расчёту надёжности отечественной аппаратуры.

Согласно справочнику США, модель вида (2) прогнозирования эксплуатационной интенсивности отказов ПП не учитывает габаритные размеры и ширину проводящих дорожек. Модель использует три поправочные коэффициенты, два из которых являются общими, используемыми для большинства электронных компонентов.

Модель прогнозирования эксплуатационной интенсивности отказов, приводимая в справочнике Франции, предназначена для расчёта интенсивности отказов печатной платы вместе с электронными компонентами и соединениями:

$$(A + B) \cdot 10^{-9} \text{ ч}^{-1}, \quad (3)$$

где  $A$  – интенсивность отказов соединений и компонентов;

$B$  – интенсивность отказов печатной платы.

В данной статье не обсуждается формула расчёта интенсивности отказов соединений и компонентов, то есть величины  $A$  выражения (3). В справочнике [3] формула для расчёта эксплуатационной интенсивности отказов печатной платы, рассматриваемой в отдельности, то есть величины  $B$  выражения (3), приведена в виде

$$B = 5 \cdot 10^{-12} \pi_t \pi_c \left( N_t \sqrt{1 + \frac{N_t}{S}} + N_p \frac{1 + 0,1\sqrt{S}}{3} \pi_L \right) \cdot \left\{ 1 + 3 \cdot 10^{-3} \left[ \sum_{i=1}^j (\pi_n)_i \cdot (\Delta T_i)^{0,68} \right] \right\}, \text{ ч}^{-1}. \quad (4)$$

Описания параметров модели (4) приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры модели прогнозирования, используемой в справочнике Франции

Параметр	Пояснение
$\pi_t$	Коэффициент, учитывающий температуру среды, окружающей печатную плату
$\pi_c$	Коэффициент, учитывающий количества слоев $l$ печатной платы. При $l \leq 2$ значение $\pi_c = 1$ , при $l > 2$ значение $\pi_c = 0,7 \cdot (l)^{0,5}$
$N_t$	Общее количество отверстий в печатной плате (монтажных и переходных)
$S$	Площадь печатной платы в см <sup>2</sup>
$N_p$	Количество контактных дорожек. Рассчитывается как $N_p = \frac{\sum N_s + \sum N_f}{2},$ где $N_s$ – количество соединений для каждого компонента поверхностного монтажа; $N_f$ – количество соединений для каждого дискретного компонента (сквозные соединения)
$\pi_L$	Коэффициент, учитывающий влияние ширины проводящих дорожек
$(\pi_n)_i$	Коэффициент, учитывающий влияния цикличности работы и изменение температуры в $i$ -м периоде работы
$\Delta T_i$	Изменение температуры в течение $i$ -го периода работы

Из анализа описанных моделей следует, что наиболее полно конструкторско-технологические особенности ПП учитывает модель прогнозирования эксплуатационной интенсивности отказов, приводимая в справочнике Франции. Модель (4), в отличие от других рассмотренных моделей, включает параметры, принимающие во внимание габариты ПП и особенности токопроводящих проводников, из-за разрушения которых может возникнуть отказ.

**Заключение.** Выполнен анализ моделей прогнозирования эксплуатационной надёжности печатных плат по данным справочников по расчёту надёжности ведущих стран мира (США, России, Франция). Установлено, что основные конструкторско-технологические особенности печатных плат наиболее полно учитывает модель, приведённая в справочнике Франции.

### Список литературы

1. Боровиков, С.М. Расчёт показателей надёжности радиоэлектронных средств: учеб.-метод. пособие / С.М.Боровиков, И.Н.Цыбельчук, Ф.Д.Троян ; под ред. С.М.Боровикова. – Минск: БГУИР, 2010. – 68 с..
2. Reliability prediction of electronic equipment : Military Handbook MIL-HDBK-217F. – Washington : Department of defense DC 20301, 1995. – 205 p.
3. A universal model for reliability prediction of Electronics components, PCBs and equipment. RDF 2000 : reliability data handbook . – Paris : UTE C 80-810. 2000. – 99 p.

UDC 321.3.038

## COMPARATIVE ANALYSIS OF FORECASTING MODELS OPERATIONAL RELIABILITY OF THE PRINTED CIRCUITS BOARD FROM HAND BOOKS OF RUSSIA, USA, FRANCE

Bondarev V.N.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Borovikov S.M. – PhD, associate professor

**Abstract.** The models for predicting the operational reliability of printed circuit boards, presented in the reference books of the following countries: Russia, USA, France, are analyzed. It was found that the reference books of these countries used different models of the reliability of printed circuit boards, which leads to results that differ significantly in values. Recommendations are made on the choice of a model, presumably providing more reliable results.

**Keywords:** printed circuit board, dependability, failure rate, reference book, reliability prediction model.