

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ЭЛЕКТРОННОГО КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ**

<sup>1</sup>*Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», г. Минск, Республика Беларусь*

<sup>2</sup>*Учреждение образования «Белорусская государственная академия связи», г. Минск, Республика Беларусь*

Электронные устройства и печатные платы в составе контрольно-измерительного оборудования систем телекоммуникаций во многих случаях используются в циклическом режиме работы: после включения и использования в течение некоторого времени по их функциональному назначению электронные устройства выключаются и находятся в режиме ожидания перед следующим использованием. После включения электронного устройства повышается температура элементов, воздуха внутри устройства, а также температура печатной платы. Это приводит к появлению в печатной плате термомеханических напряжений, которые влияют на зазоры между проводниками и могут привести к отслоению проводящего рисунка печатной платы и возникновению отказа электронного модуля (печатного узла). Поэтому оценке и обеспечению эксплуатационной надежности печатных плат следует уделять особое внимание.

Достоверность оценки эксплуатационной надежности электронных устройств во многом определяется степенью точности учета факторов, влияющих на надежность печатных плат. Приводимые в руководствах и справочниках по расчету надежности электронного оборудования модели прогнозирования эксплуатационной надежности печатных плат [1–4] имеют определенные ограничения и не учитывают некоторые важные влияющие факторы (площадь платы, количество печатных проводников, ширину печатных дорожек и др.).

Актуальной является разработка для печатных плат такой модели прогнозирования эксплуатационной надежности, которая была бы пригодной для электронных устройств разного функционального назначения и принимала бы во внимание достоинства моделей, приводимых

в справочниках [1, 3, 4]. Причем ставилась задача получения модели, которая принимала бы во внимание циклический режим работы электронных устройств и печатных плат в их составе.

В качестве основы для получения модели прогнозирования эксплуатационной надежности печатных плат использована модель, приводимая в справочнике [3]. Количественным показателем надежности, для которого строилась модель прогнозирования, выбрана эксплуатационная интенсивность отказов печатной платы с учетом как ее основания и печатных проводников, так и соединений, выполняемых пайкой припоем и другими способами (обозначена как  $\lambda_{э.пп}$ ). Полученная модель имеет следующий вид:

$$\lambda_{э.пп} = \left\{ \left[ 1,11 \cdot 10^{-3} K_{э} K_{п} K_{сл} \left( N_{\Sigma} \sqrt{1 + \frac{N_{\Sigma}}{S}} + N_{пр} \frac{1 + 0,1\sqrt{S}}{3} K_{ш} \right) + \sum \lambda_{соед} \right] \cdot \left( \frac{\sum_{i=1}^m (K_t)_i \cdot \tau_i}{\tau_{вкл} + \tau_{выкл}} \right) \right\} \times \left\{ 1 + 3 \cdot 10^{-3} \left[ \sum_{j=1}^{m+l} (K_{ц})_j \cdot (\Delta t_j)^{0,68} \right] \right\} \cdot 10^{-9}, 1/ч. \quad (1)$$

Пояснение параметров модели прогнозирования надежности печатных плат приведено в таблице 1. Параметры модели следует получать путем анализа конструкции печатной платы, уточнения количества элементов на ней, способов выполнения соединений, периодичности и температурных режимов работы электронного оборудования, описания годовых этапов работы (наработки) и годовых циклов эксплуатации оборудования.

Поправочные коэффициенты  $K_{э}$ ,  $K_{п}$ ,  $K_{сл}$  и  $K_{ш}$ , входящие в модель (1), могут быть получены по источникам [1–4]. Для определения значений  $\Delta t_j$ , соответствующих этапам в нерабочем режиме, следует воспользоваться данными, приведенными в [5].

Таблица 1 – Пояснение параметров модели прогнозирования надежности печатных плат

Обозначение параметра	Пояснение, смысл параметра
$K_{э}$	Коэффициент эксплуатации, учитывающий степень жесткости условий эксплуатации, кроме температуры
$K_{п}$	Коэффициент приемки, учитывающий степень жесткости требований к контролю качества и правила приемки печатных плат и соединений в условиях производства
$K_{сл}$	Коэффициент, учитывающий количество слоев в печатной плате
$N_{\Sigma}$	Общее количество отверстий в печатной плате (монтажных и переходных)
$S$	Площадь печатной платы в см <sup>2</sup>
$N_{пр}$	Количество печатных проводников
$K_{ш}$	Коэффициент, учитывающий влияние ширины проводящих дорожек (печатных проводников)
$\sum \lambda_{соед}$	Сумма интенсивностей отказов соединений (точек паяк монтажных соединений и металлизированных отверстий, других способов соединения)
$(K_t)_i$	Коэффициент, учитывающий температуру печатной платы для $i$ -го рабочего этапа (при наличии питания)
$i$	Индекс, учитывающий этапы работы при наличии питания (от включения до выключения электронного устройства); $i = 1, \dots, m$
$m$	Число этапов работы (наработки) для печатной платы с разными значениями температуры окружающей среды $t_{окр,i}$ в $i$ -м рабочем режиме
$\tau_i$	Годовая доля времени для печатной платы в постоянном режиме работы с питанием и температуре ( $t_{окр,i} + \Delta t_{в,i}$ )
$t_{окр,i}$	Средняя температура наружного воздуха вокруг электронного устройства для $i$ -го рабочего этапа
$\Delta t_{в,i}$	Средний перегрев воздуха вблизи печатной платы (рядом с элементами) относительно температуры $t_{окр,i}$ для $i$ -го рабочего этапа
$\tau_{вкл}$	Общая годовая доля времени для печатной платы в рабочем режиме
$\tau_{выкл}$	Общая годовая доля времени для печатной платы в нерабочем режиме (режиме бездействия, хранения, ожидания)
$j$	Индекс, учитывающий этапы эксплуатации (этапы работы с питанием и этапы в нерабочем режиме); $j = 1, \dots, m+l$
$l$	Число этапов в нерабочем режиме (режиме бездействия, хранения, ожидания)
$(K_{ц})_j$	Коэффициент, учитывающий число циклов в год $n_j$ для $j$ -го этапа эксплуатации с изменением температуры $\Delta t_j$ в этом этапе

## Теория связи, сети и системы электросвязи

$\Delta t_j$	Средняя амплитуда теплового изменения в циклах $j$ -го этапа эксплуатации
$n_j$	Количество циклов в год для $j$ -го этапа эксплуатации, которым подвергается печатная плата и соединения с температурными изменениями $\Delta t_j$

Как показали исследования, расчет надежности печатной платы по модели (1) обеспечивает более достоверные показатели надежности. Объясняется это тем, что модель дополнительно учитывает факторы, не принимаемые во внимание источниками [1, 2, 4]: размер печатной платы; циклический характер работы электронного устройства и др.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Прытков, С. Ф. Надежность электрорадиоизделий: справочник / С. Ф. Прытков [и др.]. – М. : ФГУП «22 ЦНИИ МО РФ», 2008. – 641 с.
2. Боровиков, С. М. Расчет показателей надежности радиоэлектронных средств / С. М. Боровиков, И. Н. Цырельчук, Ф. Д. Троян. – Минск : БГУИР, 2010. – 68 с.
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.
4. Reliability prediction of electronic equipment : Military Handbook MIL-HDBK-217F, Notice 2. – Washington : Department of defense DC 20301, 1995. – 205 p.
5. Climate conditions in Belarus [Electronic resource]. Available at: <http://hikersbay.com/climate-conditions/belarus/climate-conditions-in-belarus.html?lang=en> (Date of access: 20.09.2021).