

УДК 621.396.6

## ОЦЕНКА НАДЁЖНОСТИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ С УЧЁТОМ ЦИКЛИЧЕСКОГО РЕЖИМА ИХ РАБОТЫ В СОСТАВЕ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

*Бондарев В.Н.*

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

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

**Аннотация.** Предлагается усовершенствованная модель прогнозирования эксплуатационной надёжности печатных плат электронных устройств. Суть усовершенствования ранее используемой модели прогнозирования заключается в дополнении её множителем, учитывающим циклический режим работы печатной платы в составе электронного устройства.

**Ключевые слова:** электронное устройство, циклический режим работы, печатная плата, эксплуатационная надёжность, модель надёжности.

**Введение.** В настоящее время в любых электронных устройствах имеются модули, выполненные с использованием печатного монтажа (печатных плат). В большинстве случаев электронные устройства и печатные платы в их составе используются в циклическом режиме работы. Этот режим характеризуется тем, что после включения и применения по назначению в течение некоторого времени электронное устройство выключается, и находится в режиме ожидания перед следующим включением и применением. При включении электронного устройства повышается температура как самих элементов, так и температура воздуха внутри электронного устройства из-за прохождения электрического тока через электрические и электронные элементы. Повышается также и температура конструктивных частей печатной платы (диэлектрического основания, печатных проводников и паяных соединений). После выключения электронного устройства температура электрических и электронных элементов, а также конструктивных частей печатной платы уменьшается, постепенно принимая значение температуры окружающей среды. Изменение температуры печатной платы, ввиду циклического режима работы электронных устройств, приводит к появлению термомеханических напряжений в конструктивных частях печатной платы [1, с. 106], что изменяет зазоры между проводниками и может вызвать отслоение проводящих печатных дорожек платы, привести к деформации диэлектрического основания, печатных проводников, паяных соединений. Всё это в конечном итоге может привести к изменению их электрических свойств [1, с. 37] и отказу печатной платы и электронного устройства в целом.

При хранении электронного устройства (ожидании перед следующим включением) термомеханические напряжения в конструктивных частях печатной платы также появляются, поскольку во многих случаях имеет место перепад между дневной и ночной температурами, особенно в неотапливаемых помещениях. Уровень этих термомеханических напряжений ниже, нежели при включении, применении и последующем выключении электронного устройства, но также может привести к изменению электрических свойств и отказу конструктивных частей печатной платы.

**Основная часть.** Для получения более достоверной оценки эксплуатационной надёжности печатной платы следует учесть циклический режим её работы в составе электронного устройства и обусловленные этим режимом работы отличия средних температур печатной платы в разных рабочих этапах. Например, для электронного устройства производственного назначения средняя температура печатной платы, после первого включения утром (и отключения при окончании работы), может заметно отличаться от

средней температуры печатной платы после включения электронного устройства во вторую производственную смену.

На основе анализа технической литературы и справочников по расчёту надёжности электрорадиоизделий и электронного оборудования [2-6] установлено, что модель надёжности, приводимая в справочнике *RDF 2000* [5], наиболее полно учитывает конструкторско-технологические особенности печатных плат. Однако эта модель не принимает во внимание циклический режим работы печатной платы в составе электронного устройства и, кроме того, она приведена для случая использования печатной платы в телекоммуникационном и компьютерном оборудовании гражданских самолётов. В работах [7, 8] модель прогнозирования надёжности печатных плат скорректирована применительно к аппаратуре разных категорий и групп электронной аппаратуры (стационарной, переносной и др. в случае наземной аппаратуры). Для учёта циклического режима работы печатной платы в составе электронного устройства предложено ввести в математическую формулу модели прогнозирования надёжности дополнительный сомножитель (аналогично, как это сделано в [5, с. 66] для плёночных резисторов). Скорректированная (с учётом введённого сомножителя) модель прогнозирования эксплуатационной надёжности печатной платы может быть представлена в виде:

$$\lambda_{э,ПП} = \left\{ \left[ 1,11 \cdot 10^{-3} K_{э} K_{П} \cdot \left[ \varphi(S, l, N_{\Sigma}, N_{пр}, b) \right] + \sum \lambda_{соед} \right] \times \left\{ F_t \left[ \tau_{вкл}, \tau_{выкл}, \tau_i, (K_t)_i \right] \right\} \times F_{Т-ц} \cdot 10^{-9}, 1/ч. \quad (1)$$

Пояснение параметров и функций модели (1) приводится в таблице 1.

Таблица 1 – Пояснение параметров модели (1)

Обозначение параметра	Пояснение, смысл параметра
$K_{э}$	Коэффициент эксплуатации, учитывающий степень жёсткости условий эксплуатации, кроме температуры
$K_{П}$	Коэффициент приёмки, учитывающий степень жёсткости требований к контролю качества и правила приёмки печатных плат и соединений (паек) в условиях производства
$\varphi(S, l, N_{\Sigma}, N_{пр}, b)$	Сомножитель (функция), определяемый в зависимости от следующих конструкторско-технологических параметров печатной платы: $S$ - площадь печатной платы (в см <sup>2</sup> ); $l$ - количество слоёв в печатной плате; $N_{\Sigma}$ - общее количество отверстий в печатной плате (монтажных и переходных); $N_{пр}$ - количество печатных проводников; $b$ - преобладающая ширина проводящих дорожек (печатных проводников)
$\sum \lambda_{соед}$	Сумма интенсивностей отказов соединений (точек паяк монтажных соединений и металлизированных отверстий, других способов соединения)
$F_t \left[ \tau_{вкл}, \tau_{выкл}, \tau_i, (K_t)_i \right]$	Введённый сомножитель (функция), учитывающий циклический режим работы печатной платы в составе электронного устройства и, следовательно, разные значения средней температуры печатной платы в $i$ -х рабочих этапах
$F_{Т-ц}$	Сомножитель, учитывающий влияние на надёжность термомеханических напряжений, возникающих в конструктивных частях печатной платы при изменении температуры в рабочих этапах (с электрическим питанием) и этапах бездействия с отсутствием электрического питания (ожидание, хранение); формула расчёта сомножителя приведена в [5, с. 22]

Сомножитель, учитывающий циклический режим работы печатной платы в составе электронного устройства, используемый в качестве дополнения к математическому виду модели, приводимой в [5], определяется выражением:

$$F_t \left[ \tau_{вкл}, \tau_{выкл}, \tau_i, (K_t)_i \right] = \frac{\sum_{i=1}^m (K_t)_i \cdot \tau_i}{\tau_{вкл} + \tau_{выкл}}. \quad (2)$$

Пояснение параметров, используемых для выполнения расчёта по выражению (2):

$(K_i)_i$  – коэффициент, учитывающий среднюю температуру печатной платы для  $i$ -го рабочего этапа;

$\tau_i$  – годовая доля времени для печатной платы в постоянном режиме работы с электрическим питанием и температурой ( $t_{окр.i} + \Delta t_{в.i}$ );

$t_{окр.i}$  – 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;

$m$  – число этапов работы (наработки) для печатной платы с разными значениями температуры окружающей среды  $t_{окр.i}$ ;

$\tau_{вкл}$  – общая годовая доля времени для печатной платы в рабочем режиме;

$\tau_{выкл}$  – общая годовая доля времени для печатной платы в нерабочем режиме (бездействия, хранения, ожидания).

**Заключение.** Включённая в справочник *RDF 2000* [5] модель прогнозирования эксплуатационной надёжности печатной платы усовершенствована путём включения в неё сомножителя, учитывающего циклический режим работы печатной платы в составе электронного устройства. Новая модель позволяет получать более достоверные результаты об эксплуатационной надёжности печатных плат, поскольку сомножитель принимает во внимание как продолжительность (годовую долю) работы в каждом рабочем этапе (с электрическим питанием), так и среднюю температуру печатной платы в этих рабочих этапах.

### Список литературы

1. Медведев, А. М. Надёжность и контроль качества печатного монтажа. – М. : Радио и связь, 1986. – 216 с.
2. Боровиков, С. М. Расчёт показателей надёжности радиоэлектронных средств : учеб.-метод. пособие / С. М. Боровиков, И. Н. Цырельчук, Ф. Д. Троян ; под ред. С. М. Боровикова. – Минск : БГУИР, 2010. – 68 с.
3. Прытков, С. Ф. Надёжность электрорадиоизделий : справочник / С. Ф. Прытков, В. М. Горбачева, А. А. Борисов. – М. : ФГУП «22 ЦНИИИ МО РФ», 2008. – 641 с.
4. Reliability prediction of electronic equipment : Military Handbook MIL-HDBK-217F, Notice 2. – Washington : Department of defense DC 20301, 1995. – 205 p.
5. 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.
6. Бондарев, В. Н. Модель прогнозирования эксплуатационной надёжности печатных плат электронных устройств защиты информации / В. Н. Бондарев // Технические средства защиты информации : тез. докл. XIX Белорусско-российской научно-технической конференции (Республика Беларусь, Минск, 8 июня 2021 года) / редкол. : Т. В. Борботко [и др.]. – Минск : БГУИР, 2021. – С. 22-23.
7. Боровиков, С. М. Модель прогнозирования эксплуатационной надёжности печатных плат с учётом цикличности работы и температурных режимов эксплуатации / С. М. Боровиков, В. Н. Бондарев // *GLOBUS : технические науки*. – 2021. – № 4 (40). – С. 17-23.
8. Боровиков, С. М. Прогнозирование эксплуатационной надёжности печатных плат электронного контрольно-измерительного оборудования систем телекоммуникаций / С. М. Боровиков, А. В. Будник, В. Н. Бондарев // Современные средства связи : материалы XXVI Международной научно-технической конференции, Минск, 21–22 октября 2021 г. – Минск : БГАС, 2021. – С. 241-243.

UDC 621.396.6

## ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF THE PRINTED BOARDS TAKING INTO ACCOUNT THE CYCLIC MODE OF THEIR OPERATION IN THE ELECTRONIC DEVICES

Bondarev V.N.

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

Borovikov S.M. – PhD, assistant professor, associate professor of the department of ICSD

**Annotation.** An improved model for predicting the operational reliability of printed circuit boards of electronic devices is proposed. The essence of improving the previously used prediction model is to supplement it with a factor that takes into account the cyclic mode of operation of the printed circuit board as part of an electronic device.

**Keywords:** electronic device, cyclic operation, printed circuit board, operational reliability, reliability model.