

### 3 НАДЕЖНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНИКИ И СВЯЗИ

УДК 621.391

#### ВЛИЯНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА НА НАДЕЖНОСТЬ И ПАРАМЕТРЫ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

*А. М. АТАЕВ*

*Туркменский государственный институт транспорта и связи, Ашгабат*

Учитывая эксплуатационные особенности элементов автоматики железнодорожного транспорта, к ним предъявляются особые требования, относящиеся к экстремальной электронике. При проектировании систем автоматики для железнодорожного транспорта, эксплуатируемого в климатических условиях Туркменистана, необходимо исследовать влияние температурного режима на надежность элементов проектируемой системы. Под надежностью подразумевается свойство электронных приборов сохранять во времени значения всех параметров и выполнять требуемые функции в заданных условиях применения [1].

Надежность является составным понятием. Оно может включать в себя понятия безотказности, долговечности и сохраняемости. В электронной технике для количественной оценки надежности чаще всего используется параметр «интенсивность отказов» [1]:

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{n(t)} \cdot \frac{n(t) - n(t + \Delta t)}{\Delta t} = - \frac{1}{n(t)} \cdot \frac{dn(t)}{dt}, \quad (1)$$

где  $n(t)$  и  $n(t + \Delta t)$  – количество годных приборов в моменты времени  $t$  и  $(t + \Delta t)$  соответственно. Следовательно, разность  $n(t) - n(t + \Delta t)$  характеризует количество приборов, вышедших из строя в процессе испытаний на надежность за промежуток времени  $\Delta t$ .

Интенсивность отказов  $\lambda(t)$  быстро уменьшается в начале эксплуатации приборов (период приработки), затем длительное время остается постоянной [ $\lambda(t) = \lambda = \text{const}$ ] и после исчерпания срока службы резко возрастает [2].

Одним из основных факторов, отрицательно влияющих на надежность приборов, является температура. Это хорошо согласуется с физической теорией надежности, согласно которой эксплуатация любого технического устройства является необратимым процессом. Из-за наличия различного рода дефектов, образовавшихся на пути от исходного сырья до готового изделия, любое внешнее воздействие (электрическое, магнитное, тепловое, механическое и т.д.) вызывает ответную реакцию, которая сопровождается необратимым переходом всего объекта в иное предельное состояние (ухудшение выходных параметров или отказ). В соответствии с принципами термодинамики такой переход связан с преобразованием энергии активации дефектов, средняя скорость рассеяния которой определяется соотношением Аррениуса [2]

$$v = a \frac{kT}{h} \cdot \exp\left(-\frac{\Delta W}{kT}\right), \quad (2)$$

где  $a$  – масштабный коэффициент;  $k$  – постоянная Больцмана;  $T$  – абсолютная температура;  $h$  – постоянная Планка;  $\Delta W$  – энергия активации процесса.

Исходя из этого, время, протекающее от начала эксплуатации до разрушения или достижения иного предельного состояния любого технического объекта, должно удовлетворять условию [2]

$$t = \tau_0 \exp\left(\frac{1}{k} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta W_i}{T_i}\right), \quad (3)$$

где  $\tau_0$  – масштаб времени;  $\Delta W_i$  — величина активационного барьера или запас энергии до разрушения  $i$ -й области;  $T_i$  – ее температура.

Величина активационного барьера  $\Delta W_i$  может иметь различную природу, и поэтому для конкретного прибора динамика процессов разрушения различных областей может отличаться на несколько порядков. Поскольку определяющее значение имеет ресурс наиболее теплонапряженной области, то уравнение (1) можно свести к выражению [3]

$$t = \tau_0 \exp\left(\frac{b}{T}\right), \quad (4)$$

где  $b$  – некоторый постоянный коэффициент, величина которого устанавливается путем статистической обработки опытных данных.

Справедливость выражения (4) хорошо подтверждается многими экспериментальными исследованиями по долговечности различных радиотехнических устройств [3].

Основным источником проблем, связанных с обеспечением высокой надежности радиоэлектронного оборудования, является внутренний фактор. Из анализа энергетических показателей электронной аппаратуры [4] следует, что в среднем только 5–10 % подводимой мощности отводится в виде полезных сигналов. Остальная мощность рассеивается в виде тепла. Поэтому важно, чтобы тепловой режим работы приборов и оборудования соответствовал тем условиям, на которые они рассчитаны. Так, например, невыполнение этих условий для электровакуумных приборов вызывает интенсивное газоотделение с анода, «отравляющее» катод.

Превышение температуры сеточного блока электронных ламп приводит к возникновению остаточных деформаций в витках и траверсах и, как следствие, к изменению формы блока с нарушением условий формирования электронного потока [4]. Перегрев катода вызывает интенсивное испарение оксидного покрытия, что, в свою очередь, приводит к снижению электрической прочности прибора и увеличивает термомиссионную составляющую обратного тока [5].

Не менее жестким тепловым режимом характеризуется работа СВЧ приборов [7]. В частности, долговечность ЛБВ ограничена несколькими тысячами часов, что обусловлено расплавлением спирали, а также напылением ее материала на керамические стержни при перегреве [8].

В газоразрядных приборах нарушение теплового режима водородного генератора сопровождается изменением рабочего давления газа. Это ухудшает стабильность управления разрядом, снижает электрическую прочность прибора и в отдельных случаях приводит к росту мощности, выделяющейся на его электродах [9].

Неравномерное распределение температуры по элементам электронных приборов может вызывать значительное отклонение важных геометрических размеров. В ряде случаев эта проблема представляет собой сложную задачу, как, например, при разработке электронных пушек, фокусирующих систем [7] и резонаторов оптических квантовых генераторов [6, 7].

Что касается дискретных полупроводниковых приборов, то их тепловой режим лимитируется не только свойствами полупроводниковых структур, но и температурой плавления припоев, применяемых при их изготовлении [7]. Тем не менее, основным результатом воздействия повышенных температур является тепловой пробой ( $p-n$ )-переходов [9]. В случае интегральных микросхем и процессоров помимо теплового пробоя ( $p-n$ )-переходов, среди возможных результатов воздействия повышенных температур отмечаются также пробой диэлектриков тонкопленочных конденсаторов, нестабильность и деградация электрических параметров, обрывы и короткие замыкания металлизации [9].

В целом же, применение полупроводниковых приборов значительно улучшает энергетические соотношения в системах автоматики [5], однако для них свойственна более сильная зависимость выходных параметров от температуры [6, 8–10].

Современное развитие электроники направлено на миниатюризацию электронных схем за счет увеличения вычислительных мощностей на единицу объема. Эта тенденция основывается на увеличении степени интеграции, что в свою очередь неизбежно приводит к увеличению плотности выделяемой тепловой мощности и, как следствие, к проблемам отвода тепла.

Мировой лидер по производству процессоров компания «Intel» в 2015 г. выпустила в продажу процессор «Core i7-6700K», основанный на 14 нм техпроцессе. Исследования по изучению характе-

ристик процессора показали значительное увеличение выделяемой плотности теплового потока в сравнении с предыдущими версиями процессоров [11]. При площади процессора в 14 см<sup>2</sup> выделяемая тепловая мощность равна 91 Вт. В соответствии с планами «Intel» во втором полугодие 2017 г. ожидается выпуск процессора, основанный на 10 нм технологическом процессе. Учитывая устоявшееся соотношение вычислительной мощности на потребляемую, предполагается увеличение тепловыделения ожидаемого процессора. Это подтверждает актуальность проводимых исследований, направленных на разработку новых, высокоэффективных систем охлаждения микроэлектронных приборов.

В настоящее время в плане повышения надежности работы и стабильности выходных параметров электронных приборов, используемых в системах автоматики железнодорожного транспорта, большое внимание уделяется не только совершенствованию традиционных способов охлаждения, но и поиску новых технических решений, обеспечивающих отвод и эффективное рассеяние тепловой энергии при минимальных энергетических и масса-габаритных показателях устройств в целом. В этой связи актуальным направлением, требующим детального изучения, является разработка высокоэффективных систем стабилизации температуры для систем автоматики железнодорожного транспорта на основе тепловых трубок.

#### Список литературы

- 1 ГОСТ 27.002-2009. Надежность в технике. Термины и определения. – М. : Стандартинформ. – 2011.
- 2 **Жарких, А. П.** // Воронежский государственный технический университет, 2005. – 46 с.
- 3 **Шехмейстер, Е. И.** Технология производства электровакуумных и полупроводниковых приборов : учеб. пособие / Е. И. Шехмейстер. – М. : Высш. школа: 1992. – 368 с.
- 4 **Савенченко, В. П.** Методы и модели исследования остаточного ресурса изделий радиоэлектронной техники. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Фрязино, 1999 г.
- 5 **Алямовский, А. А.** Инженерные расчёты в Solidworks Simulation / А. А. Алямовский. – М. : ДМК-Пресс, 2010. – 235 с.
- 6 **Ткаченко, Ф. А.** Электронные приборы / Ф. А. Ткаченко. – М. : ИНФРА, 2011. – 160 с.
- 7 **Улитенко, А. И.** Система стабилизации температуры оболочек мощных электронных устройств / А. И. Улитенко, В. В. Прадед, В. А. Пушкин // ПТЭ. – 2003. – № 5. – С. 156–159.
- 8 Улитенко, А.И., Прадед В.В., Пушкин В.А. // Холодильная техника, 2003, № 11. – С. 14-16.
- 9 Улитенко А.И. // Электроника. Межвуз. сб. науч. трудов, Рязань, 2003. – С 15-16.
- 10 Обзор процессоров Intel Core 6-го поколения // <http://www.intel.ru/content/www/ru/ru/pc-upgrades/6th-gen-core-processor-family.html>.
- 11 Electronics-review. Система водяного охлаждения компьютера // <http://www.electronics-review.ru/sistema-vodyanogo-oxlazhdeniya-kompyutera>.
- 12 Пат. № 562, G06 1/20. Охлаждающее устройство на основе диэлектрической жидкости и тепловых труб / Аширбаев М.Х., Кулиев Н.А., Атаев А.М. // Государственная служба интеллектуальной собственности (Туркменистан). Заявлено 11.01.2013. Опубликовано 24.05.2013.
- 13 Пат. № 630, H05K 7/20, G06 1/20. Способ охлаждения микроэлектронных схем на основе испарения в вакуумных средах / Аширбаев М.Х., Кулиев Н.А., Атаев А.М. // Государственная служба интеллектуальной собственности (Туркменистан). Заявлено 04.03.2013. Опубликовано 12.02.2015.

УДК 338.47+656.256

## ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

*К. А. БОЧКОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*Д. В. КОМНАТНЫЙ*

*Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, Республика Беларусь*

К современным микропроцессорным и микроэлектронным системам обеспечения безопасности движения поездов, равно как и к системам управления ответственными технологическими процессами, предъявляются высокие требования по безопасности и электромагнитной совместимости (ЭМС). Поэтому усилия разработчиков и производителей направлены на удовлетворение этим требованиям. При этом производятся существенные затраты денежных средств. Современное состоя-