

# ТЕПЛОВИЗИОННАЯ ДИАГНОСТИКА МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ

**А.П. Корольков, кандидат технических наук, профессор;**

**А.А. Ульяновский.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.**

**Н.Н. Печенова.**

**Санкт-Петербургский государственный университет кино и телевидения**

Рассмотрена возможность использования полимерных модифицированных материалов при разработке метода измерений тепловых характеристик на основе тепловизионной диагностики в зоне термостатирования электронных модулей, применяемых в электронной технике.

*Ключевые слова:* тепловизор, полимерное покрытие, термографическая система, электронная техника, радиотехника, электронный модуль

## THERMAL IMAGING DIAGNOSTICS OF MICROELECTRONIC COMPONENTS

A.P. Korolkov; A.A. Ulyanovskiy.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.

N.N. Pechenova. Saint-Petersburg state university of cinema and television

In this article consider the possibility of using polymer modified materials in the development of the measurement method of thermal characteristics on the base of thermal imaging diagnostics of electronic module used in electronics.

*Keywords:* thermal imager, polymeric coating, thermographic system, electronic, radio engineering, electronic module

С развитием электроники появились новые методы и средства измерений, прогнозирования надежности изделий электронной техники. Существуют различные методы измерений изделий электронной и радиотехники, метод исследования и прогнозирования работоспособности таких изделий по их тепловому излучению начинает занимать все более значительное место.

Стремление уменьшить размеры выпускаемых изделий за счет увеличения плотности монтажа элементов создает определенные трудности в обеспечении теплового режима и ставит задачу разработки методов оценки качества измеряемых тепловых характеристик.

Во время работы в изделиях электронной техники выделяется и рассеивается тепловая энергия. Теплопроводность, конвекция и излучение являются теми механизмами, посредством которых тепло передается окружающей среде от элементов электронной техники, нагретых до температуры более высокой, чем температура среды [1].

Теоретический расчет теплового режима изделий является очень сложным, вследствие чего особое значение приобретает неконтактный способ измерения температуры с помощью термографической системы.

В качестве такого неконтактного способа измерения температуры может быть использован тепловизионный способ. Принцип действия тепловизионных систем заключается в том, что инфракрасное (тепловое) излучение от исследуемого объекта через оптическую систему (объектив) передается на приемник, представляющий собой тепловизионную матрицу. Далее сформированный видеосигнал посредством электронного

блока измерения, регистрации и математической обработки оцифровывается и отображается на экране компьютера или дисплее тепловизора (рис. 1) [2].

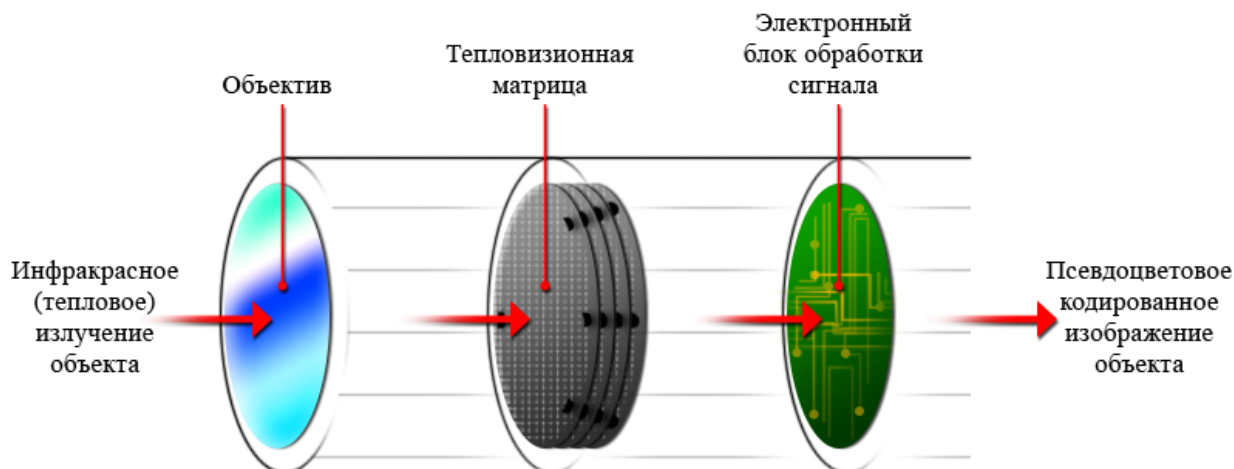


Рис. 1. Простейшая схема тепловизора

Полученное после обработки изображение может быть монохромным (черно-белым) или цветным, и называется термоизображением. Отображение зависит от интерпретации электроникой получаемого с объектива и проходящего через тепловизионную матрицу инфракрасного излучения.

Для интегральной оценки потока излучения реальных тел удобно использовать понятие радиационной температуры  $T_r$ , которая определяется как температура абсолютно черного тела (АЧТ), при которой интегральная светимость реального излучателя в заданном спектральном интервале равна интегральной светимости излучения АЧТ с температурой  $T_r$  в том же спектральном интервале, то есть:

$$\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varepsilon(\lambda, T) M_{\varepsilon\lambda}(\lambda, T) d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} M_{\varepsilon\lambda}^0(\lambda, T_r) d\lambda$$

Если  $\varepsilon(\lambda, T) \cong \varepsilon(\lambda)$ , то для интервала длин волн  $\Delta\lambda = 0 \dots \infty$  на основе закона Стефана-Больцмана получим следующее выражение для радиационной температуры:

$$T_r = \sqrt[4]{\varepsilon(T) T^4}$$

Применение черно-белого варианта делает более четким различие образов оператором [3].

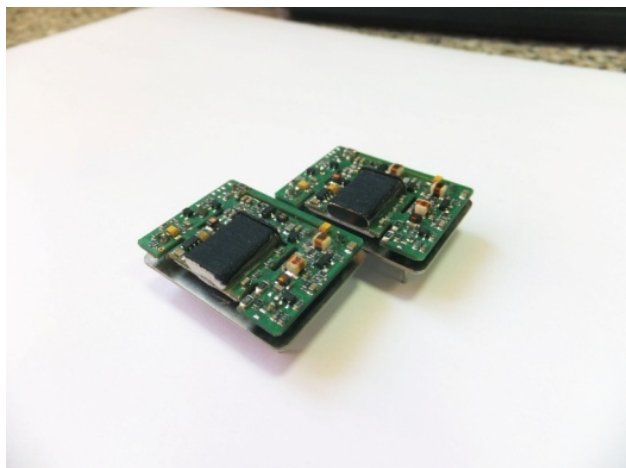
Обработка сигнала, отраженного от черной поверхности так же делает более четким его изображение для оператора. Однако в природе не существует идеально черной поверхности. На практике для воспроизведения излучения черного тела приходится прибегать к применению различных моделей черного тела [4]. Главной задачей при этом для определения излучаемой способности модели является обеспечение термодинамического равновесия излучаемой способности модели с обеспечением теплоизоляции.

Созданная на основе тепловизора новая экспериментальная установка позволяет проводить высокотемпературные исследования нормальной спектральной излучательной способности очень широкого класса неэлектропроводных материалов как рассеивающих, так и не рассеивающих тепловое излучение. Разработанная методика дает возможность получать

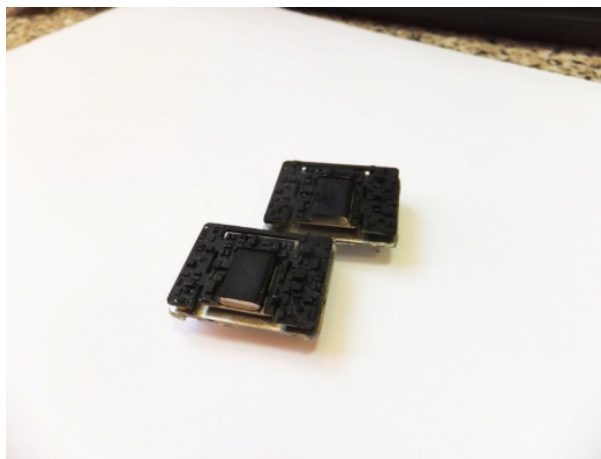
данные по излучательной способности новых материалов в широком спектральном диапазоне, включающем области сильного и слабого поглощения. Полученные экспериментальные данные по излучательной способности в спектральной области непрозрачности исследованных материалов могут использоваться для описания граничных условий как внутренних, так и внешних задач теплообмена излучением, независимо от используемой математической модели.

В данном случае рассматривается применение полимерного покрытия лака УР-231 [5] и красящего пигмента сажи газовой. Пигменты, как правило, полидисперсны, что в большинстве случаев благоприятствует большей плотности упаковки их частиц в красящих пленках и способствует повышению механической прочности и атмосферостойкости защитных покрытий. Обычно размер основной массы частиц пигментов колеблется от 0,5 до 10 мкм. Размеры частиц для разных пигментов колеблются в более широких пределах: от сотых долей, например, у сажи и до десятков микрометров. Продолговатая, волокнистая и чешуйчатая форма частиц повышает покрываемость, механическую прочность и атмосферостойкость покрытия [6].

Получение необходимого цвета зависит главным образом от химической природы пигментов и в некоторой степени от его дисперсности, определяющей условия отражения света. Основной цветовой тон пигмента характеризуется длиной волны той части светового спектра, которая в максимальной степени отражается частицами пигмента. Черные пигменты представлены в основном сажами. При разработке методики измерений тепловых режимов электронного модуля с помощью тепловизоров предпочтительным является использование черного покрытия, что обеспечивает получение однородного поверхностного слоя. В большей степени для этих целей подходит сажа газовая – чёрное реальное вещество, поглощает до 99 % падающего излучения в видимом диапазоне длин волн. Для улучшения качества наносимого покрытия был выбран лак УР-231 с примесью сажи газовой (гуашь). Производя оценку качества и влияния толщины наносимого слоя лака с примесью на изделие электронного модуля (ЭМ) в целом или только на металлическую поверхность ЭМ [7], увеличиваем или уменьшаем толщину покрытия опытным путем (рис. 2, 3).



**Рис. 2. Покрытие только металлического корпуса ЭМ**



**Рис. 3. Полное покрытие всего ЭМ**

Полученные термограммы при измерении температуры ЭМ с различной толщиной покрытия представлены на рис. 4 (с одним слоем лака УР-231 и примесью сажи) на рис. 5 (с двумя слоями лака УР-231 и примесью сажи).

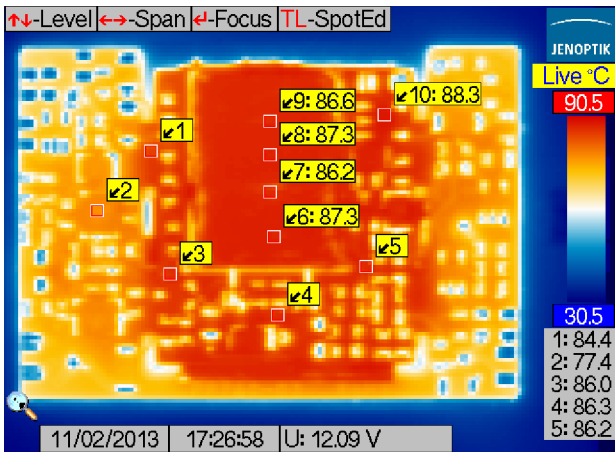


Рис. 4. Один слой лака/сажи

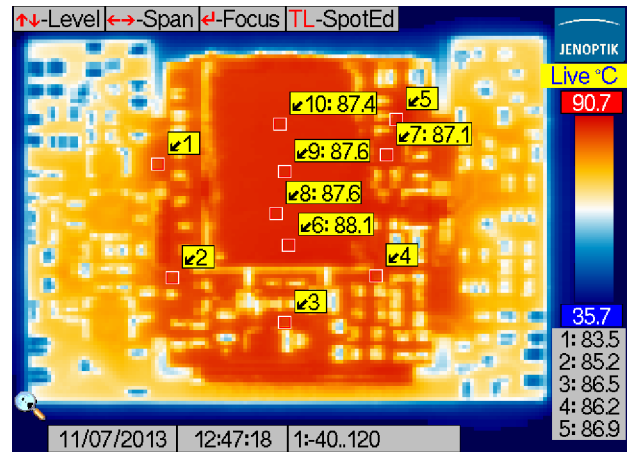


Рис. 5. Два слоя лака/сажи

Температурные данные при диагностике ЭМ получены тепловизором InfraTec VarioCAM HR head. Тепловизионная система VarioCAM HR head оснащена неохлаждаемым микроболометром фокальной плоскости (FPA) с разрешением (384x288).

График зависимости температур от различных применяемых полимерных материалов, способа и количества нанесения окраски представлен на рис. 6.

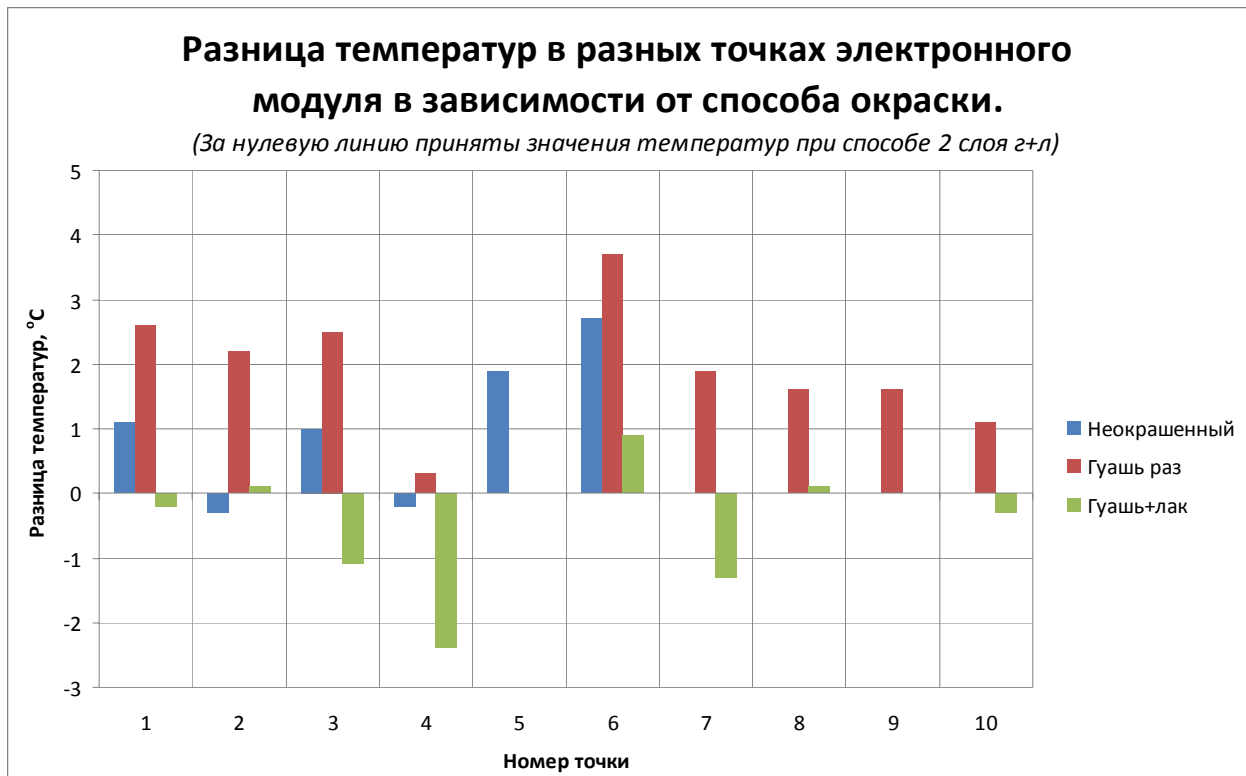


Рис. 6. График зависимости температур от различных покрытий

Оценка распределения температуры по заданным критическим точкам, термограмма, полученная при съемке ЭМ тепловизором, представлена на рис. 7.

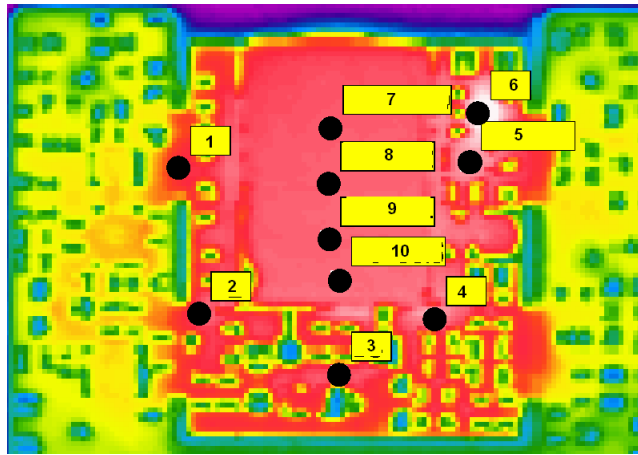


Рис. 7. Термограмма исследуемого электронного модуля

Данный метод измерения тепловых характеристик показал положительный результат, выявление дефектов ЭМ на ранних стадиях позволит улучшить качество и обеспечит надежность выпускаемых изделий, а значит появляется возможность обеспечения высокой и долговременной стабильности частоты работы ЭМ при длительной эксплуатации электронных изделий, широко применяемых в радиоэлектронной и военной промышленности.

#### Литература

1. Пономаренко В.П., Филачев А.М. Инфракрасная техника и электронная оптика. Становление научных направлений (1946–2011). М.: Физматкнига, 2013. 384 с.
2. Бирюк В.В. Применение тепловизора в энергетическом машиностроении: учеб. Самара, 2007. 96 с.
3. Тугов Ш.И., Кострыкина Г.И. Химия и физика полимеров. М.: Химия, 1989. 432 с.
4. Оптика. 3-е изд. М.: Физматкнига, 2013. 384 с.
5. Латыев Л.Н., Петров В.А. Излучательные свойства твердых материалов. М.: Энергия, 1974. 472 с.
6. ТУ 6-21-14-90. Лаки эпоксиуретановые УР-231 и УР-231Л. Доступ из информ.-поисковой системы «Первый машиностроительный портал».
7. Переятец А. Химия для электроники // Компоненты и технологии. 2001. № 5.