



Основная идея этого метода состоит в распространении сигналов ошибки от выходов сети к её входам, в направлении, обратном прямому распространению сигналов в обычном режиме работы [5]. Обучающей выборкой являются изображения в оттенках серого, имеющие общую тематику. Желаемая выборка – соответствующие им цветные изображения.

Описываемая система позволяет сохранить обученные нейронные сети с указанием темы изображений, для последующего использования.

Для раскраски изображения производится его сегментация, которая может быть улучшена дополнительным ручным склеиванием требуемых сегментов. Затем, для каждого сегмента выбирается его тематика из списка доступных, и запускается алгоритм раскраски. Полученное цветное изображение можно сохранить.

Система разработана на языке Java.

Диаграмма вариантов использования данной системы приведена на рисунке 1.

### Литература

1. Automatic Colorization [Электронный ресурс]: статьи. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://tinyclouds.org/colorize/> – Загл. с экрана. – Яз. англ.
2. Graph Based Image Segmentation [Электронный ресурс]: статьи. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.cis.upenn.edu/~jshi/GraphTutorial/> Загл. с экрана. – Яз. англ.
3. Википедия [Электронный ресурс]: статьи. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/> – Загл. с экрана. – Яз. рус.
4. Осовский, С. Нейронные сети для обработки информации [Текст]/ Пер. с польского И.Д. Рудинского. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344с.: ил.
5. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание [Текст]/ Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.: ил.

С.П. Орлов, Е.А. Ахполова

### ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ БЛОКОВ ПО ТЕПЛОВЫМ ПОЛЯМ ЭЛЕМЕНТОВ

(Самарский государственный технический университет,  
АО «РКЦ «Прогресс», г. Самара)

Высокие требования к надежности радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов приводят к необходимости интенсивных наземных испытаний для выявления дефектов и прогнозирования работоспособности приборов. Технологические отбраковочные испытания проводятся при комплексном воздействии нескольких факторов: вибрации, климатических воздействиях, электротермотренировки. При этом радиоэлектронные блоки функционируют в штатном режиме, будучи установлены в конструктив аппарата. В этом случае



не всегда имеется возможность контактного измерения многих параметров, характеризующих их работоспособность

В работах [1,2] описана информационно-измерительная система для испытаний оптико-электронного преобразователя, которая использует бесконтактный метод измерения теплового поля на поверхности микросхемы фоточувствительной матрицы на ПЗС. В результате в процессе испытаний с помощью тепловизора NEC R500 [3] непрерывно снимается температурное поле на поверхности прибора, которое показывает места и степень ненормативного разогрева микросхемы.

В докладе предлагается развитие данного подхода для технической диагностики всего радиоэлектронного блока с множеством контролируемых элементов.

Будем рассматривать приборный отсек с технологическим отверстием в стенке, в которое устанавливается компактный тепловизор в держателе с поворотным механизмом. В оптическом поле тепловизора будут находиться видимые поверхности внутренних элементов отсека, которые для упрощения будем считать плоскими. Выделим плоскость с  $N$  установленными на ней электронными элементами. Для реализации предлагаемой методики необходимо построить теплофизические модели этих элементов.

Взяв за основу известное уравнение теплопроводности [4], построим математическую модель теплопереноса в объеме радиоэлектронного элемента:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda(x, y, z) \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda(x, y, z) \frac{\partial t}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda(x, y, z) \frac{\partial t}{\partial z} \right) + Q(x, y, z, \tau) - Q'(x, y, z, \tau) - Q''(x, y, z, \tau) = \rho(x, y, z) \cdot c(x, y, z) \frac{\partial t}{\partial \tau}, \quad (1)$$

где  $\lambda(x, y, z)$  – теплопроводность материала в точке с координатами  $(x, y, z)$ , [Вт/м·К];  $t$  – температура в точке  $(x, y, z)$ , [К];  $Q(x, y, z, \tau)$  – удельная мощность источника тепла, [Вт/м<sup>3</sup>];  $Q'(x, y, z, \tau)$  – удельная мощность теплоотдачи во внешнюю среду за счет конвекции и радиационного излучения, [Вт/м<sup>3</sup>];  $Q''(x, y, z, \tau)$  – удельная мощность теплоотдачи через верхнюю поверхность, [Вт/м<sup>3</sup>];  $\rho(x, y, z)$  – плотность материала в точке с координатами  $(x, y, z)$ , [кг/м<sup>3</sup>];  $c(x, y, z)$  – удельная теплоемкость, [Дж/кг·К];  $\tau$  – время, [с].

В работе [1] предложено модифицировать модель путем учета конструктивных особенностей элементов и их теплообмена в приборном отсеке. Это позволяет упростить математическую модель, переходя к двумерному нестационарному уравнению теплопроводности:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda(x, y) \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda(x, y) \frac{\partial t}{\partial y} \right) + Q(x, y, \tau) - Q'(x, y, \tau) = \rho(x, y) \cdot c(x, y) \frac{\partial t}{\partial \tau} \quad (2)$$

Задавая координаты источников повышенного тепловыделения в электронном элементе, получаем температурные поля  $\Theta_{i, n}(x, y)$  для данного элемента  $i$ , соответствующие различным дефектам и неисправностям, где  $n$  – номер дефекта.



Методика технической диагностики электронных элементов по тепловой картине заключается в следующем.

1. Измерение термограммы поверхностей элементов внутри приборного отсека с помощью тепловизора в процессе наземных испытаний изделия.
2. Анализ общей термограммы и выделение перегретых участков с последующей фокусировкой на них тепловизора.
3. Измерение детальных термограмм отдельных перегретых элементов.
4. Сравнительный анализ измеренных термограмм и расчетных температурных полей, полученных с помощью математических моделей теплового состояния электронных элементов. Возможно также использование накопленных в базе данных термограмм, снятых в процессе предыдущих испытаний аналогичных приборов и элементов.
5. Принятие решения о продолжении испытаний, изменении режимов воздействия на блок, либо приостановка испытаний.
6. Занесение в базу данных результатов испытаний, в том числе полученных реальных термограмм радиоэлектронных элементов.

На рисунке 1 приведена схема принятия решения о неисправности и работоспособности радиоэлектронных элементов приборов различных типов.

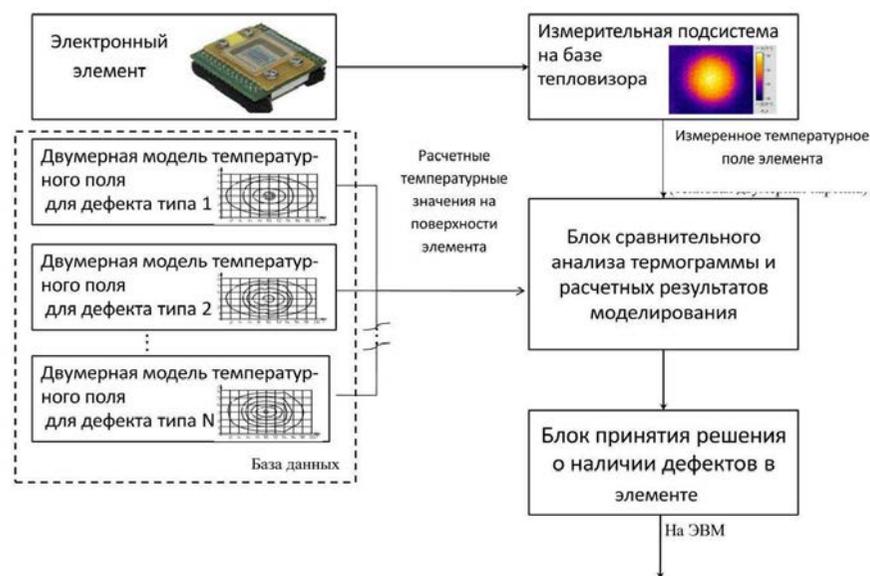


Рис. 1. Схема принятия решений о работоспособности радиоэлектронных блоков

Выходная информация тепловизора в формате радиометрического JPEG 14 битов обрабатывается в блоке сравнительного анализа.



В настоящее время использование тепловизионных термограмм распространено достаточно широко. Однако в большинстве случаев анализ проводит специально подготовленный термографист. При этом велика роль субъективных ошибок оценки состояния объекта. При наземных технологических отбраковочных испытаниях электронных приборов в составе изделия роль термографиста сводится к визуальному контролю хода испытаний и своевременного определения аварийных тепловых режимов. Более тонкая диагностика проводится с помощью программного обеспечения и базы данных температурных полей элементов.

В предложенной системе для автоматического анализа термограмм и сравнения с расчетными картинками теплового поля можно использовать известные программные средства анализа изображений. Наиболее перспективны три направления [5]:

- сравнительная термография (качественная и количественная);
- опорные обследования (использование опорных сигнатур);
- температурные тренды.

Таким образом, внедрение предлагаемой методики технической диагностики приборов по тепловой картине в комплексе с математическим моделированием позволит получить достоверную информацию о дефектах и неисправностях, а также сократить сроки испытаний аппаратуры.

### Литература

1. Орлов, С.П. Техническая диагностика опико-электронного преобразователя системы дистанционного зондирования Земли/ С.П.Орлов, Е.А.Ахполова //Вестник Волжского университета им. Татищева. № 2(24), 2015. – С.63-71.
2. Орлов, С.П. Моделирование процесса диагностики опико-электронного преобразователя/С.П.Орлов, Е.А.Ахполова//В сб.: Перспективные информационные технологии (ПИТ 2013): труды Междунар. научно-технической конференции. — Самара: Изд. Самарского научного центра РАН, 2013. – С. 294-296.
3. Инфракрасная термография в энергетике/А.В.Афонин. и др. Под ред. Ньюпорта Р. К., Тажиджаева А. И. Т. 1. Основы инфракрасной термографии. — СПб.: СПЭИПК, 2000. - 240 с.
4. Дульнев, Г.Н. Методы расчета теплового режима приборов/ Г.Н. Дульнев, В.Г. Парфенов, А.В. Сигалов. – М.: Радио и связь, 1990. – 312 с.
5. ГОСТ Р ИСО 18434-1-2013. Контроль состояния и диагностики машин. Термография. Часть 1. Общие методы. – М.: Стандартинформ, 2014.