

## Системный анализ, управление и обработка информации

УДК 681.3

### МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ ПЗС-МАТРИЦЫ С ПОМОЩЬЮ ТЕПЛОВИЗОРА

**Е.А. Ахполова**

АО «РКЦ «ПРОГРЕСС»  
Россия, 443009, г. Самара, ул. Земяца, 18

E-mail: ahpolova\_elena@mail.ru

*Рассматривается проблема контроля технического состояния фоточувствительной ПЗС-матрицы, используемой в оптико-электронном преобразователе для дистанционного зондирования Земли с борта космического аппарата. Показана зависимость тепловой картины, полученной с поверхности микросхемы, от характера и локализации дефекта. Предложена методика оценки технического состояния по тепловой картине, полученной с помощью тепловизора. Представлены особенности работы тепловизора при проведении диагностики технического состояния ПЗС-матрицы. Рассматривается способ определения предельных значений температурного диапазона с помощью метода моментов. Описана структурная схема программно-аппаратного комплекса для сбора и обработки диагностической информации.*

**Ключевые слова:** приборы с зарядовой связью, оптико-электронный преобразователь, диагностика, тепловой метод контроля, программно-аппаратный комплекс.

Оптико-электронный преобразователь (ОЭП) на основе фоточувствительных приборов с зарядовой связью (ФПЗС) входит в состав системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), которая позволяет получать данные о состоянии земной поверхности. Информация с подобных систем широко используется в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства, для решения научных задач, а также в военно-стратегических целях [1].

К оптико-электронной аппаратуре предъявляются повышенные требования надежности ( $P = 0,998$ ) на протяжении активного срока эксплуатации (не менее 5 лет). В процессе производства и хранения ОЭП в нем могут появляться и накапливаться неисправности, тем или иным образом влияющие на его работоспособность. Некоторые из них приводят к тому, что объект перестает отвечать предъявляемым к нему требованиям нормативно-технической или конструкторской документации [2].

Основную роль в полноценной работе оптико-электронного преобразователя играет фоточувствительная ПЗС-матрица, которая принимает и преобразовывает движущееся световое изображение в цифровой сигнал. Таким образом, перед

---

Елена Анатольевна Ахполова, контрольный мастер цеха.

производителем ставится задача по организации диагностики функционирования микросхемы во время монтажа и испытания прибора.

### **Методика контроля и обработки результатов**

На практике чаще всего используются методы контроля технического состояния фоточувствительной ПЗС-матрицы, основанные на измерении ее фотоэлектрических и электрических параметров (эффективность переноса заряда, зарядовая емкость, напряжение насыщения и т. д.). Данные методы диагностики требуют высокой квалификации персонала, способного выполнять работу на узкоспециализированной аппаратуре, а также продолжительны по времени.

В связи с субъективностью оценки технического состояния микросхемы вышеуказанные методы обладают низкой достоверностью, а также являются малоэффективными при большом числе диагностируемых элементов. Однако известно, что при протекании через микросхему электрического тока порядка 90-95 % энергии в итоге превращается в тепловую.

Распределение теплового излучения по поверхности ФПЗС и его интенсивность зависят от теплофизических параметров материала и от возможного наличия дефектов в нем. Дефект является причиной интегрального или локального искажения теплового поля. Картина поля меняется в зависимости от расположения в объеме, природы и размера самого дефекта. Тепловая картина меняется при наличии локального разогрева (по причине замыкания проводников, изменения кристаллической структуры светочувствительной поверхности и др.) или более холодного участка (вызванного трещиной, пробоем, порой и т. д., которые не пропускают электрический ток).

Для снятия тепловой картины с поверхности микросхемы используется тепловизионный метод неразрушающего контроля. При регистрации температуры с помощью тепловизора значение ее зависит от коэффициента теплового излучения и соответствует радиационным значениям объекта. Для преобразования измеренной температуры в истинные значения используется следующая формула:

$$t_o = (1 - \varepsilon_E/\varepsilon_o)t_c + \varepsilon_E t_E/\varepsilon_o + (t'_o - t'_E)/\varepsilon_E, \quad (1)$$

где  $t_o$  – истинная температура объекта;  $t_E$  – истинная температура эталона;  $t_c$  – истинная температура окружающей среды;  $t'_o, t'_E$  – измеренные радиационные температуры объекта и эталона соответственно;  $\varepsilon_E$  – коэффициент теплового излучения эталона;  $\varepsilon_o$  – коэффициент теплового излучения объекта [3].

Сложность метода заключается в необходимости калибровки прибора в процессе измерения. С этой целью в поле зрения тепловизора помещается эталонный источник температуры с известным значением коэффициента теплового излучения и температуры.

Таким образом, тепловой метод неразрушающего контроля заключается в сравнительном анализе измеренного значения температуры поверхности микросхемы и расчетного значения температуры, которое принимается за эталон. В связи с особенностями конструкции, допуском на теплофизические и электрические параметры микросхемы, погрешностями измерения расчетные значения температуры задают диапазон допуска температуры матрицы.

При выполнении условия  $t_{\min} \leq t'_o \leq t_{\max}$  объект можно классифицировать как работоспособный. В случае выхода измеренного значения температуры за пределы указанного диапазона объект характеризуется как неработоспособный [3].

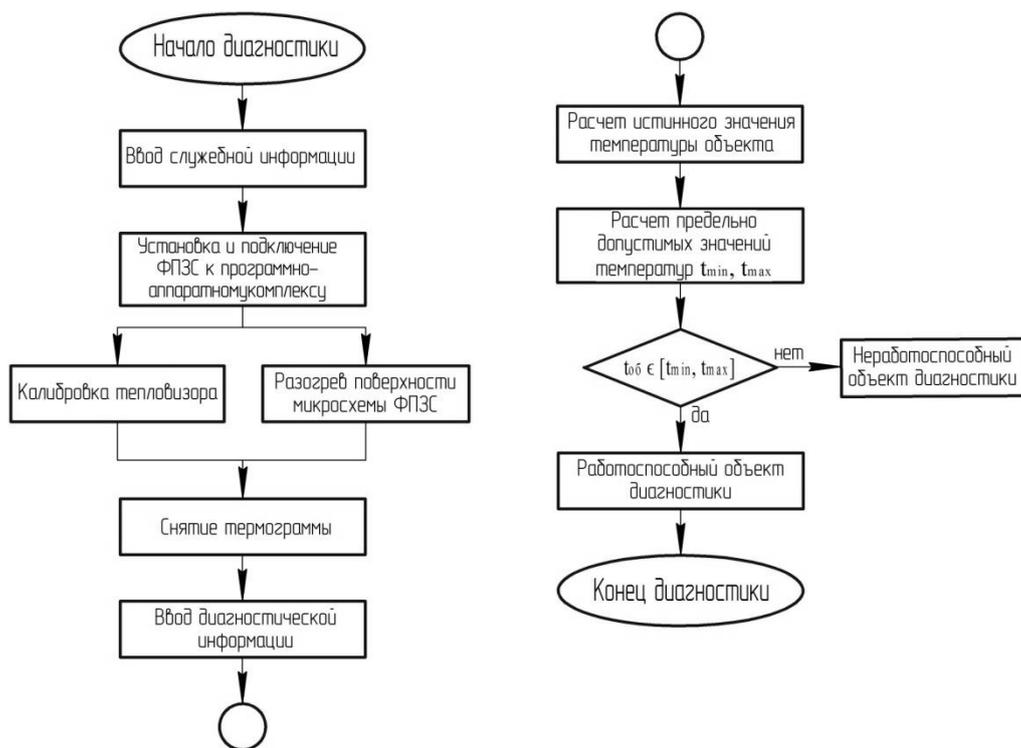


Рис. 1. Алгоритм автоматизированного контроля технического состояния фоточувствительной ПЗС-матрицы

Определение предельных значений температурного диапазона осуществляется с помощью выражений:

$$t_{\min} = m(t) - 3\sigma(t); \quad t_{\max} = m(t) + 3\sigma(t),$$

где  $t_{\min}$ ,  $t_{\max}$  – предельные минимальное и максимальное значения температурного диапазона соответственно;  $m(t)$  – математическое ожидание температуры поверхности микросхемы;  $\sigma(t)$  – среднеквадратическое отклонение температуры поверхности микросхемы.

При этом математическое ожидание  $m(t)$  определяется по формуле

$$m(t) = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n},$$

где  $t_i$  – температура поверхности микросхемы ФПЗС, измеренная в  $i$ -м цикле и преобразованная по формуле (1);  $n$  – количество измерений.

Среднеквадратическое отклонение  $\sigma(t)$  температуры поверхности микросхемы определяется как

$$\sigma(t) = \sqrt{D(t)},$$

где  $D(t)$  – дисперсия температуры, выраженная формулой

$$D(t) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (t_i - m(t_i))^2.$$

Таким образом, определяется диапазон допустимых значений для темпера-

туры поверхности ПЗС-матрицы  $[t_{\min}, t_{\max}]$ . Путем сравнения измеренного с помощью тепловизора значения  $t_0$  с значениями  $t_{\min}, t_{\max}$  осуществляется разбраковка объектов диагностики на работоспособные и неработоспособный.

Алгоритм контроля ПЗС-матрицы представлен на рис. 1.

Для обработки информации и оперативного принятия решения о техническом состоянии ФПЗС необходимо автоматизировать процесс температурной диагностики. Структурная схема программно-аппаратного комплекса представлена на рис. 2.

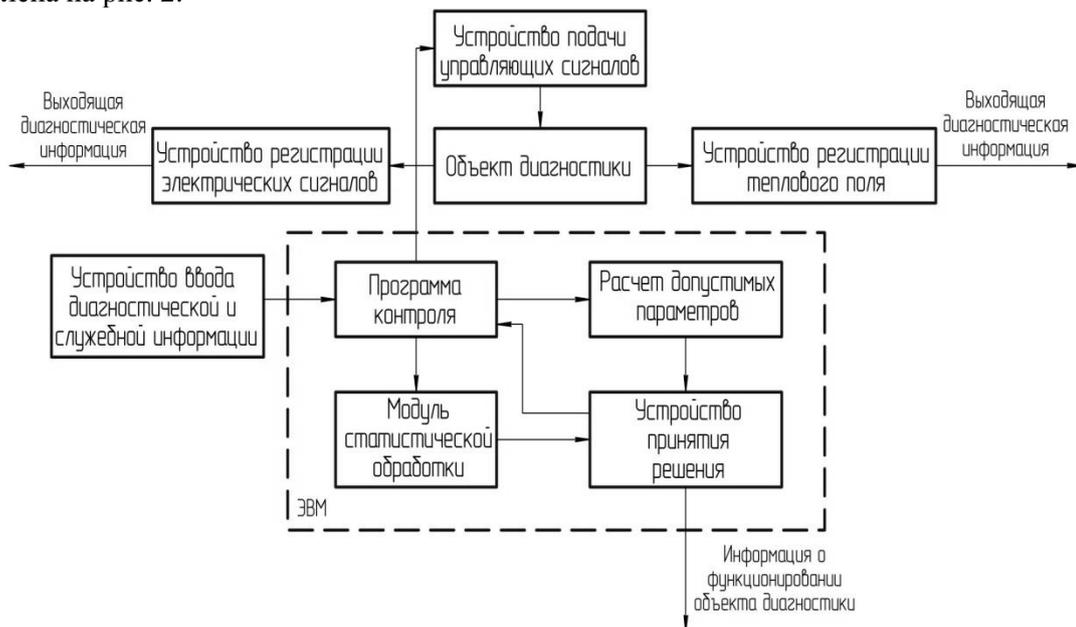


Рис. 2. Структурная схема программно-аппаратного комплекса для температурной диагностики фоточувствительной ПЗС-матрицы

Устройство подачи управляющих сигналов представляет собой отладочную плату компании XILINX на базе ПЛИС Virtex-6, которая обладает широкими возможностями для разработки и отладки приложений высокоскоростных последовательных интерфейсов. Управление устройством осуществляется через ЭВМ благодаря программе контроля. Сигналы, подаваемые на объект диагностики, в данном случае ФПЗС-матрицу, позволяют имитировать ее штатную работу.

В качестве устройства регистрации теплового поля выступает тепловизор с оптико-механической системой сканирования. Основные узлы, из которых состоит прибор: оптическая система приема, оптико-механическая система сканирования, видеоконтрольное устройство, приемник излучения и усилительно-преобразовательного электронного тракта. Оптическая система создает изображение на приемнике излучения в виде контура объекта в инфракрасных лучах. Получение тепловой картины объекта обеспечивается системой сканирования, затем с приемника усиливается и передается на индикатор.

В качестве устройства регистрации электрических сигналов используется осциллограф, который позволяет получать диагностическую информацию о техническом состоянии объекта по электрическим параметрам выходного сигнала (амплитуда, частота и т. д.).

Устройство ввода диагностической и служебной информации, а также ЭВМ

с программным комплексом и базой данных представляют собой человеко-машинный интерфейс. Инженер-аналитик следит за процессом диагностики и дает заключение о техническом состоянии фоточувствительной ПЗС-матрицы [4].

### **Заключение**

Таким образом, в процессе испытаний в автоматическом режиме измеряются параметры микросхемы, определяется ее работоспособность, производится запись данных в базу данных испытаний. Регистрация информации о нештатных ситуациях при функционировании микросхемы и анализ причин возникновения отклонений в ее работе позволяют повысить надежность работы оптико-электронного преобразователя в штатном режиме на борту космического аппарата, а также сократить время на диагностику ФПЗС.

Автоматизация контроля фоточувствительной ПЗС-матрицы с помощью тепловизора способствует повышению качества и эффективности диагностики за счет увеличения точности измерений, достоверности принятия решений и уменьшения трудозатрат на процесс испытаний [5].

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. *Бакланов А.И.* Системы наблюдения и мониторинга: Учеб. пособие. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 234 с.; ил.
2. *Ахполова Е.А., Орлов С.П.* Использование метода Байеса для обработки статистических данных результатов испытаний оптико-электронного преобразователя // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – № 1 (41). – 2014. – С. 32–37.
3. *Ахполова Е.А.* Использование метода термографии при диагностике оптико-электронного преобразователя // Мат-лы XX Науч.-техн. конф. молодых ученых и специалистов. – Королев, 2014. – С. 148–149.
4. *Ахполова Е.А.* Метод контроля работоспособности фоточувствительной ПЗС-матрицы оптико-электронного преобразователя // Мат-лы XVI Междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск: Изд-во ЦРНС, 2014. – С. 126-130.
5. *Евланов Л.Г.* Контроль динамических систем. – М.: Наука, 1970. – 432 с.

*Статья поступила в редакцию 29 января 2015 г.*

## **METHODOLOGY OF TECHNICAL STATE CONTROL THE PHOTO-SENSITIVE CCD MATRIX USING THERMAL IMAGER**

***Е.А. Ahpolova***

State Research-and-Production Space Rocket Centre «TsSKB-Progress»  
18, Zemetza st., Samara, 443009, Russia

*The problem of the technical- state control of photosensitive CCDs used in optoelectronic converters for remote sensing of the Earth from a spacecraft is considered. The dependency of the thermal picture obtained from the chip surface, on the character and localization of the defect is shown. The method of estimation of technical condition by means of the thermal picture obtained by a thermal imager from the surface of the chip is proposed. The specific features of the thermal imager operation during the technical-state control of CCDs are presented. The way to determine the limiting values of the temperature range by the method of moments is discussed. A block diagram of hardware and software system for collection and processing of diagnostic information is described.*

**Keywords:** *Charge-Coupled Device, optoelectronic converter, diagnostics, method of thermal analysis, hardware-software system.*

---

*Elena A. Ahpolova, control foreman workshop.*