

непрерывной работы тепловизора и сокращает количество и частоту регламентных работ по его обслуживанию. Кроме того, пониженный перегрев теплосбрасывающего радиатора в большей степени удовлетворяет специфике эксплуатации тепловизора в циклическом режиме "включен"—"выключен". При этом после каждого выключения ФП за счет вновь возникающего потока тепла в направлении от перегретого радиатора к ФЧЭ его температура в течение короткого промежутка времени (несколько секунд) может превысить температуру $T_{o.c.}$. Тогда при последующем включении тепловизора температурный уровень охлаждения ФЧЭ будет уже выше, чем при предыдущем включении, что в свою очередь ухудшает фоточувствительные параметры ФП.

Таким образом, чем незначительнее потребляемая мощность ФП и, соответственно, перегрев

радиатора относительно $T_{o.c.}$, тем меньше будет сказываться этот негативный фактор на эксплуатационных параметрах ФП и комплектуемого тепловизора.

Исходя из вышеизложенных рассуждений, можно сделать вывод, что при прочих равных условиях и наперед заданных значениях U_0 и R_p из двух ТЭО с одинаковыми значениями I_{max} предпочтительным для комплектования ФП является ТЭО с большим значением U_{max} .

Л и т е р а т у р а

1. Аракелов Г. А.// Прикладная физика. 2002. № 6. С. 78—84.
2. Аракелов Г. А., Магнушевский В. Р., Сивенкова В. Н., Троицкий И. М., Казанцев Г. А.// Там же. № 2. С. 69.

Some aspect on thermoelectric cooler optimization for application in photodetectors

G. A. Arakelov

RSC FSUE "NPO Orion", Moscow, Russia

L. B. Yershova, G. G. Gromov

RVT Ltd, Moscow, Russia

In the paper the example of optical TEC estimation for the application in a 64-element PD array is advised. Theoretical and experimental investigations demonstrate that an optimal TEC for a PD application and its most suitable operation parameters depend on a range of factors and application conditions. At a given value of thermal resistance of heat sink onto which PD is mounted there are real parameters of TEC $I_0 < I_{max}$ and $U_0 < U_{max}$ that provide the optimal operation of the "PD+heat sink" system. Between two TECs wqual values of their I_{max} the type with higher U_{max} is preferable.

УДК 621.383

Аппаратно-программный комплекс цифровой обработки сигналов многоядных матричных фотоприемных устройств

Ю. С. Бехтин, А. А. Баранцев

Рязанская государственная радиотехническая академия,
г. Рязань, Россия

В. Н. Соляков, А. С. Медведев

ФГУП «НПО "Орион"», Москва, Россия

Рассмотрено аппаратное и алгоритмическое обеспечение аппаратно-программного комплекса (АПК), предназначенного для обработки сигналов многоядных матричных фо-

топриемных устройств (МФПУ) на основе фотодиодов из КРТ. АПК построен на базе персонального компьютера типа IBM PC и PCI-платы сопряжения. АПК обеспечивает формирование изображений МФПУ и позволяет в реальном масштабе времени проводить их вторичную обработку. Особенностью разработанного АПК является возможность выравнивания неоднородности чувствительности элементов МФПУ в рабочем режиме без прерывания для калибровки.

Улучшение качества изображений, получаемых с помощью МФПУ, связывают в первую очередь с эффективным подавлением геометрического шума темнового тока, чувствительности и дефектов [1]. При решении задач подавления геометрического шума используется подход, основанный на представлении геометрического шума детерминированным процессом, при котором пространственное распределение шума считается не зависящим от времени. При его технической реализации применяются две группы методов [1].

Первая группа методов основана на использовании средств дискретно-аналоговой обработки сигналов и включает методы компенсации, двойной коррелированной выборки, стабилизации выходного сигнала. Для подавления геометрического шума методами дискретно-аналоговой схемотехники требуется предварительное изучение его физических источников и выбор таких методов, которые наиболее эффективно подавляют те его составляющие, которые преобладают в фотоприемном устройстве данного типа.

Вторая группа методов подавления геометрического шума основана на использовании средств аналогово-цифровой схемотехники. Эти методы не предполагают предварительного изучения физических источников геометрического шума. Очевидно, что эффективность таких методов определяется только мощностью заложенных в них алгоритмов обработки, поскольку современный уровень развития цифровых процессоров и устройств позволяет игнорировать в той или иной степени вычислительную сложность данных алгоритмов.

Среди методов подавления геометрического шума выделяют следующий подход [1], ставший "классическим". Сначала при "низкой температуре" оценивают и записывают в ОЗУ значения темнового тока (постоянной составляющей, величина которой случайна). Далее при "высокой температуре" осуществляется расчет поправочных коэф-

фициентов, необходимых для выравнивания неоднородности вольтовой чувствительности элементов многоэлементного фотоприемника. Затем происходит отображение текущего кадра тепловизионного изображения с одновременным выполнением операций, необходимых для подавления структурной помехи (вычитание) и выравнивания вольтовой чувствительности (умножение на поправочный коэффициент).

Очевидно, что проведение предварительной калибровки приводит к увеличению аппаратных и временных затрат. Кроме того, во время работы МФПУ коэффициенты передачи его каналов могут изменяться, что приводит к необходимости прерывать нормальный режим работы МФПУ на периодическую калибровку.

Таким образом, перспективным является построение аппаратно-программных комплексов, решающих в совокупности задачи предварительной калибровки элементов МФПУ, подавления дефектов, улучшения визуального качества путем регулирования яркости, контрастности, изменения размеров изображения, пространственно-временной обработки и т. п. Такая идея становится вполне реализуемой с ростом быстродействия современных цифровых процессоров обработки сигналов и устройств на их основе.

Состав и структура АПК

Аппаратно-программный комплекс (АПК) состоит из МФПУ, построенного на основе четырех линеек фоточувствительных элементов, персонального компьютера с установленной платой сопряжения (модуль AMBPCI и submodule ADM214x10M) и подключенной к шине PCI компьютера. Структура АПК показана на рис. 1.

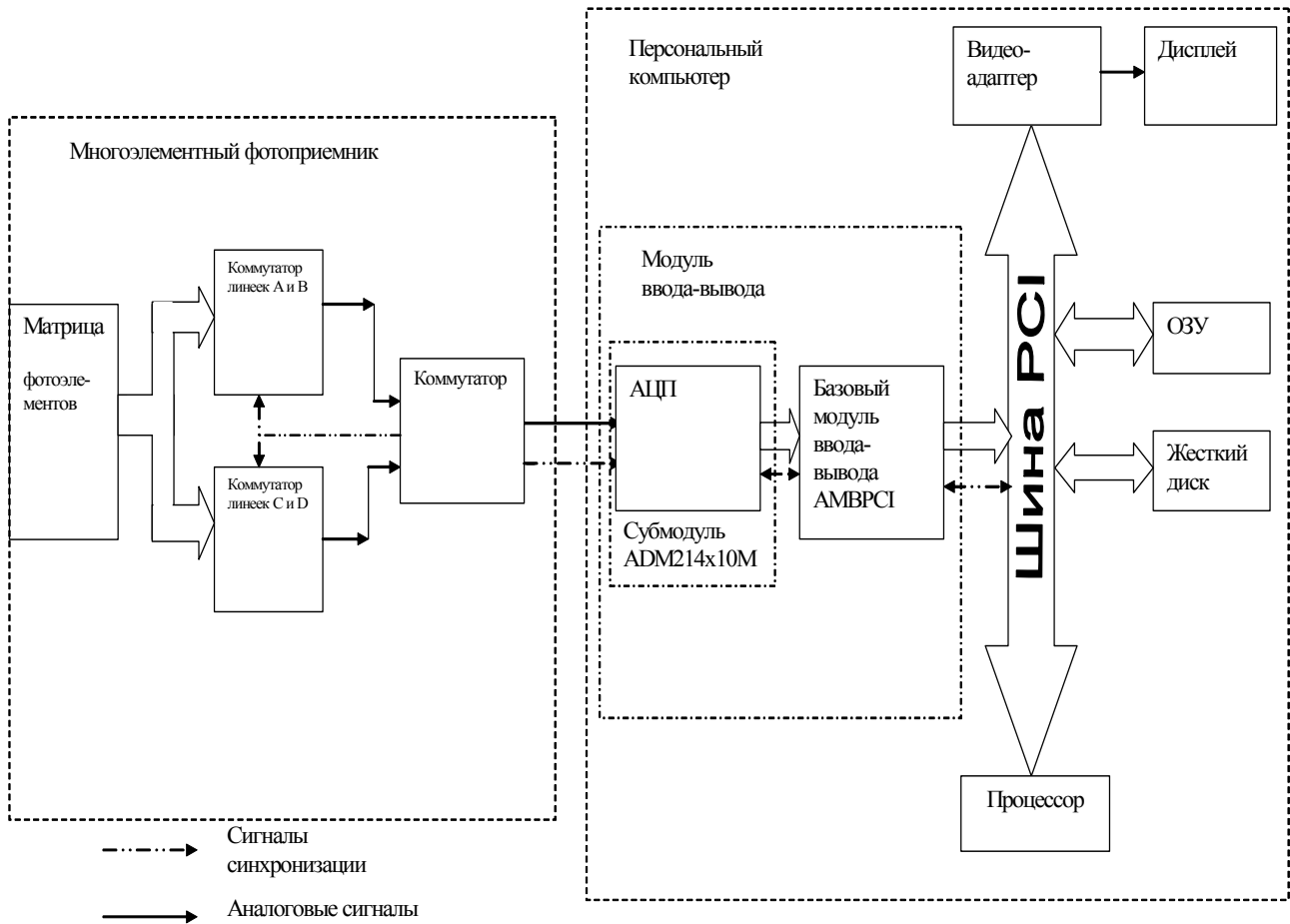


Рис. 1. Структура аппаратно-программного комплекса

МФПУ содержит четыре линейки фоточувствительных элементов (ФЧЭ). Топология расположения ФЧЭ показана на рис. 2.

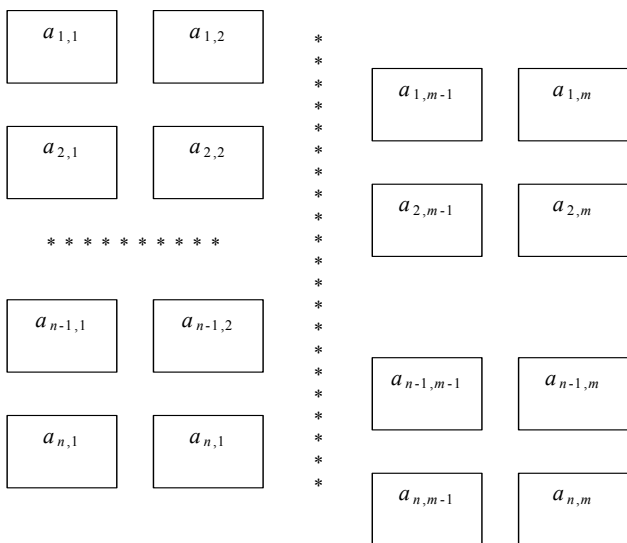


Рис. 2. Топология расположения ФЧЭ

При сканировании изображения в направлении, перпендикулярном линейкам, каждый элемент

изображения регистрируется последовательно двумя фоточувствительными элементами, сигналы от которых складываются с задержкой, равной времени перемещения одного элемента изображения (пиксела) от одного ФЧЭ к другому. Таким образом реализуется режим временной задержки и накопления (ВЗН), который позволяет увеличить отношение сигнал/шум и уменьшить величину геометрического шума. Дальнейшее уменьшение величины геометрического шума до значений, близких к величине временного шума отдельных ФЧЭ, проводится путем обработки сигналов в АПК. Для этого сигналы с многоэлементного фотоприемника поступают совместно с сигналами синхронизации, вырабатываемыми во встроенном коммутаторе, в submodule ADM214x10M, в котором осуществляется аналогово-цифровое преобразование.

Далее введенная информация поступает в ОЗУ компьютера и подвергается обработке с помощью центрального процессора. Обработанное видеозображение отображается на дисплее и, кроме того, может быть сохранено на жестком диске. Таким образом, комплекс работает в трех режимах.

Первый режим работы комплекса обеспечивает оценку и запись в ОЗУ значений структурной помехи (постоянной составляющей, величина которой случайна и занимает почти весь диапазон АЦП).

Во втором режиме возможно осуществление расчета поправочных коэффициентов, необходимых для выравнивания неоднородности вольтовой чувствительности элементов МФПУ.

В третьем режиме, который соответствует рабочему режиму комплекса, происходит отображение текущего кадра тепловизионного изображения с одновременным выполнением операций, необходимых для подавления геометрического шума темного тока, чувствительности и дефектов. При необходимости используется вторая часть программного обеспечения АПК, которая осуществляет выравнивание вольтовой чувствительности элементов без прерывания рабочего режима для проведения калибровки.

Одним из основных устройств АПК является устройство сопряжения с МФПУ, основу которого составляет базовый модуль ввода—вывода АМВРСІ, предназначенный для создания систем (устройств) ввода-вывода на базе submodule семейства ADMxxx в составе персонального компьютера. Как видно из рис. 1, базовый модуль обеспечивает подключение МФПУ к шине РСІ компьютера. В базовом модуле АМВРСІ системный интерфейс шины РСІ обеспечивает передачу данных в режиме Master до 120 Мбайт/с. Таким образом, пропускная способность устройства цифрового ввода-вывода в несколько раз превышает интенсивность потока выходных данных МФПУ.

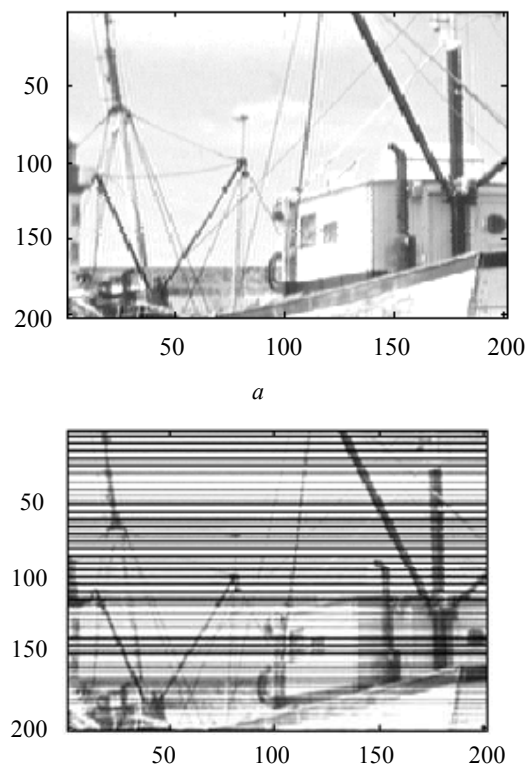
Работа АПК начинается с инициализации базового модуля АМВРСІ. При этом настраиваются режимы старта/останова АЦП. Программа осуществляет выделение областей памяти, необходимой для хранения информации, поступающей с МФПУ, и преобразованного (откорректированного) изображения. Далее осуществляется заполнение калибровочных массивов. На этапе настройки МФПУ калибровка осуществляется вручную. Оператор переводит АПК в ручной режим калибровки и дает команду на выполнение первой калибровки по "низкой температуре". При калибровке вычисляются коэффициенты, необходимые для компенсации постоянной составляющей и выявляются дефектные элементы. Вторая калибровка происходит аналогично при "высокой температуре". При этом вычисляются коэффициенты, предназначенные для компенсации неоднородности вольтовой чувствительности, и строятся таблицы, необходимые для работы алгоритма подавления шума дефектов.

После получения калибровочных коэффициентов программа готова к вводу тепловизионного изображения в персональный компьютер. В программе предусмотрен интерфейс пользователя, предназначенный для изменения настройки модуля и submodule непосредственно из программы, не прибегая к ее рекомпиляции. Все меню интерфейса программы сгруппированы по функциональным назначениям.

Алгоритмическое обеспечение АПК

Алгоритмическое обеспечение АПК состоит из двух частей. Первая часть предназначена для подавления геометрического шума на стадии подготовки к рабочему режиму и включает все известные "классические" методы. Вторая часть алгоритмического обеспечения предназначена для рабочего режима работы МФПУ, в котором происходит отображение текущего кадра тепловизионного изображения с одновременным выполнением операций, необходимых для подавления помех (вычитание) и выравнивания вольтовой чувствительности (умножение на поправочный коэффициент). Поскольку полностью подавить геометрический шум на этапе калибровки не удастся, то основная задача — обработка текущего кадра для повышения его качества.

Визуально действие геометрического шума чувствительности и дефектов проявляется в виде темных и светлых полос, причем минимальные яркости (полное затемнение) строк характерны для дефектных элементов (рис. 3).



б

Рис. 3. Тестовое (а) и искаженное геометрическим шумом чувствительности и дефектов и аддитивным шумом ФЭМ (б) изображение “Лодки”

Будем полагать, что кадр изображения формируется на выходе МФПУ путем последовательного опроса его каналов встроенным электронным коммутатором. Тогда отсчеты y_{ij} кадра размером $N \times M$, искаженные геометрическим шумом чувствительности вдоль его строк, имеют вид

$$y_{ij} = k_i x_{ij} + \xi_{ij}, \quad (1)$$

где k_i — коэффициент передачи i -го канала МФПУ;

x_{ij} — отсчеты оригинала изображения;

ξ_{ij} — аддитивный шум МФПУ, $i = 1, \dots, N$, $j = 1, \dots, M$.

Коэффициенты передачи k_i , $i = 1, \dots, N$ считаются в общем случае нормально распределенными случайными величинами с единичным средним в интервале, определяемым технологическими характеристиками конкретного изделия. Для некоторых многоэлементных МФПУ разброс коэффициентов передачи может оказаться в пределах $\pm 30\%$.

Для геометрического шума дефектов выражение (1) остается также справедливым, однако необходимо учесть, что коэффициенты передачи для строк с дефектными элементами определяются как [1]

$$k_i = 0, \quad i = 1, \dots, N. \quad (2)$$

Что касается аддитивного шума, то при хорошо настроенном изделии минимальное отношение сигнал/шум может достигать более 15—20. Следовательно, влияние коэффициентов передачи на качество выходного изображения МФПУ является наиболее существенным.

Таким образом, задача заключается в нахождении оценки оригинала \hat{x}_{ij} , $i = \overline{1, N}$, $j = \overline{1, M}$ путем обработки кадра изображения (1) с учетом (2).

Алгоритм поиска оценки оригинала состоит из двух этапов.

На *первом этапе* необходимо осуществить обработку кадра изображения следующим образом:

$$z_{ij} = y_{ij} \frac{\bar{y}}{y_i}, \quad i = \overline{1, N}, \quad j = \overline{1, M}, \quad (3)$$

где $\bar{y} = \frac{1}{NM} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M y_{ij}$, $\bar{y}_i = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M y_{ij}$ — выборочные средние по кадру и по строкам, соответственно.

Цель преобразования вида (3) заключается в замене коэффициентов передачи каналов МФПУ

k_i , $i = \overline{1, \dots, N}$, на новые коэффициенты \bar{x} / \bar{x}_i , $i = \overline{1, N}$ которые более “приближены” к оригинальному изображению. Чтобы преобразование (3) не вносило искажений больших, чем вносит неоднородность чувствительности, необходимо не допустить превышения значений новых коэффициентов пределов исходного разброса. Кроме того, на первом этапе необходимо устранить влияние дефектных элементов. Вначале предлагается вычислить среднеквадратическое отклонение для искаженных отсчетов кадра изображения (1)

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{1}{N-1} \frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (y_{ij} - \bar{y})^2}. \quad (4)$$

Затем величина $\bar{y} - \sigma_y$ может быть выбрана в качестве порогового значения, ниже которого будут значения отсчетов в дефектных строках, причем после обнаружения дефектной строки она заменяется на соседнюю.

Для разброса коэффициентов передачи МФПУ в размере $\pm 50\%$, т. е. $k_i \in [0,5; 1,5]$, $i = \overline{1, N}$, правило пересчета (3) с учетом порогового обнаружения дефектной строки будет таким [2, 3]:

$$z_{ij} = \begin{cases} y_{ij} \frac{\bar{y}}{y_i}, & \text{если } \frac{\bar{y}}{y_i} \in [0,33; 3]; \\ z_{(i-1),j} & \text{если } \frac{\bar{y}}{y_i} > 1 + \frac{\sigma_y}{y_i}; \\ y_{ij}, & \text{если } \frac{\bar{y}}{y_i} \notin [0,33; 3] \text{ и } \frac{\bar{y}}{y_i} < 1 + \frac{\sigma_y}{y_i}, \end{cases} \quad (5)$$

$i = 1, \dots, N$, $j = 1, \dots, M$.

На *втором этапе* предлагается осуществить выравнивание профиля обработанного в соответствии с (5) изображения с помощью алгоритма нелинейной фильтрации, имеющего вид [2, 3]:

$$\hat{x} = \begin{cases} \bar{z}, & C_z^2 \leq C_k^2 \\ f(z), & C_k^2 < C_z^2 < C_{\max}^2 \\ z, & C_z^2 \geq C_{\max}^2 \end{cases}, \quad (6)$$

где $C_k^2 = \sigma_k^2 / \mu_k^2$, $C_z^2 = \sigma_z^2 / \mu_z^2$ — коэффициенты вариации, вычисляемые через дисперсии и квадраты выборочных средних для мультипликативного шума и текстуры изображения, соответственно;

$$C_{\max}^2 = \max \{ C_k^2 \};$$

$f(z)$ — некоторый алгоритм фильтрации, например линейной.

В качестве алгоритма $f(z)$ может быть выбран какой-либо известный алгоритм обработки изображений [4], например алгоритм медианной фильтрации, алгоритмы адаптивной фильтрации первого и второго порядков, вейвлет-преобразование и т. п. В настоящий момент АПК содержит медианный фильтр и фильтр Ли [4], в котором

$$f(z) = \bar{z} + W(z - \bar{z}), \quad (7)$$

где $W = 1 - C_k^2 / C_z^2$ — весовая функция фильтра Ли.

Одномерное окно размером 3 используется для расчета C_k^2 , а окно размером 5 — для расчета C_z^2 . Перед использованием алгоритма (6) кадр изображения подвергается логарифмированию.

Алгоритм (3)—(7) был апробирован путем машинного моделирования на ряде тестовых изображений в среде MATLAB. Ниже приводятся результаты, полученные при использовании фрагмента тестового изображения “Лодки”, оригинальный вид которого показан на рис. 3, а. Ис-

каженное геометрическим шумом чувствительности и дефектов, а также аддитивным шумом изображение показано на рис. 3, б. Коэффициенты передачи каналов МФПУ были получены с помощью датчика случайных чисел (ДСЧ), нормально распределенных в интервале $[0,5, 1,5]$, т. е. рассматривался самый “тяжелый” случай 50%-ного отклонения. Дефектные элементы занимают 30 строк изображения, начиная сверху, через каждые 5 строк. Аддитивный шум также вырабатывался с помощью ДСЧ как нормально распределенный с нулевым средним, при этом минимальное отношение сигнал/шум было равно 10. Как видно из рис. 3, б, геометрический шум чувствительности и дефектов значительно преобладает над аддитивным и очень сильно искажает оригинал. Результат применения предложенного алгоритма обработки показан на рис. 4.

На рис. 5 приведен реальный кадр, полученный в рабочем режиме разработанного АПК.

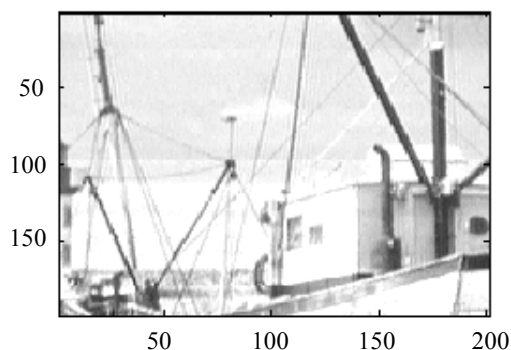


Рис. 4. Обработанное изображение

Л и т е р а т у р а

1. Кругликов С. В. Методы и средства подавления структурных помех многоэлементных фотоприемников// Аналитический обзор № 4628 за 1970—1987 гг. — М., 1989.
2. Бехтин Ю. С., Баранцев А. А. Улучшение качества изображений многоэлементных фотоприемных устройств// Цифровая обработка сигналов и ее применение: Тез. 6-й междунар. конф. — М., 31 марта — 2 апреля, 2004.

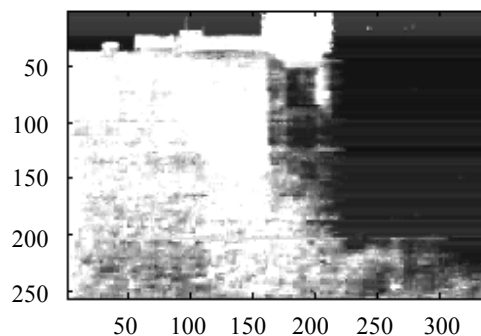


Рис. 5. Кадр рабочего режима АПК

3. Бехтин Ю. С., Баранцев А. А., Соляков В. Н., Медведев А. С. Построение аппаратно-программных комплексов цифровой обработки изображений фотоэлектронных модулей// Тез. XVIII МНТК по фотоэлектронике и приборам ночного видения. — М., 25—28 мая, 2004.
4. Gonzalez R. C., Woods R. E. Digital Image Processing. Addison Wesley, 1992.

Статья поступила в редакцию 13 октября 2006 г.

The hard- and software of digital image processing for infrared linear TDI FPA

Yu. S. Bekhtin, A. A. Barantsev

Ryazan State Radioengineering Academy, Ryazan, Russia

V. N. Solovakov, A. S. Medvedev

ORION Research-and-Production Association, Moscow, Russia

The hard- and software consisting of the infrared linear TDI FPA, personal computer IBM PC and the built-in input/output PCI-card is considered. The suggested technical solutions and algorithms provide a real-time secondary digital processing for images received by the infrared FPA

based on the four lines of elements. The important feature of the developed software is aimed on the reduction of a fixed pattern noise during normal mode operations.

УДК 621.383

Конструкционные полимерные клеи повышенной технологичности для сборки тепловизионных фотоэлектронных модулей

М. А. Антипова, Б. Н. Дрожников, Ю. А. Казарова, К. И. Яснова
ФГУП «НПО "Орион" — Государственный научный центр РФ, Москва, Россия

Разработаны быстроотверждающиеся конструкционные клеи для герметизации и сборки фотоприемников на основе халькогенидов свинца и узлов электронной аппаратуры для систем тепловидения и тепловизионной аппаратуры. Новые клеи отличаются оптимальным сочетанием физико-химических свойств по адгезионной и механической прочности, оптической прозрачностью в области ИК-спектра, минимальной усадкой, крио- и термостойкостью в широком интервале температур (-196 ± 100 °С) и технологичностью применения за счет ускоренного режима отверждения. Приведены сравнительные эксплуатационные характеристики разработанных клеев, указаны области применения в технологии изготовления фотоприемников и фотоприемных устройств и даны рекомендации к их использованию в оптико-электронной аппаратуре нового поколения.

В технологии изготовления фотоэлектронных модулей представляющих собой блок многоэлементных фоторезисторов и фотоприемных устройств, более 70 % операций сборки (герметизации фоточувствительных элементов, создание оптических и теплопередающих контактов с термоохладителем, крепление многожильных кабелей, герметизация узлов конструкции электроники и ряд других) осуществляется с применением клеев, герметиков и заливочных компаундов на основе различных полимерных соединений.

В фотоприемниках охлаждаемого типа на основе халькогенидов свинца, InSb, CdHgTe и сопряженных с ними фотоэлектронных устройств для этих целей применяется серия специально разработанных конструкционных клеевых, герметизирующих и заливочных составов на основе полиоргано-силосануретанов и полиэфироуретанов [1—5].

Настоящая статья посвящена созданию более совершенных в технологическом отношении конструкционных клеев и заливочных герметизирующих составов, отвечающих требованиям, соответствующим условиям производства и эксплуатации фотоэлектронных модулей нового поколения, работающих при низких температурах и предназначенных для специального и гражданского применений.

Комплекс этих требований включает необходимость сочетания инертности полимерного состава (клея, герметика), к материалу фоточувствительного слоя фотоприемника, адгезию к узлам

конструкции (стеклу, кварцу, поликору, полиимиду, стеклопластикам, металлам), когезионную и механическую прочность и сохраняемость перечисленных свойств в условиях эксплуатации аппаратуры.

Большинству этих требований отвечают упомянутые в литературе [1—5] и широко применяемые в отрасли клеи типа УК-1, УК-1М, ОР-3.

Недостатком перечисленных составов является довольно длительный (от 24 до 72 ч) период отверждения, что существенно удлиняет технологический цикл сборки изделий с их применением. Последнее обстоятельство отрицательно влияет на скорость выпуска и себестоимость фотоэлектронных модулей, что весьма существенно при производстве изделий гражданского применения.

Созданные нами клеи, обладая всем комплексом необходимых свойств, отличаются способностью отверждаться в десятки раз быстрее, что значительно сокращает технологический цикл сборки.

Химическую основу созданных клеев составляют полиоргано-силосануретановые соединения, а уникальная для полиуретанов скорость отверждения достигается введением в один из компонентов клеевой композиции повышенного содержания катализатора отверждения на основе соединений каприлата олова (диалкилдиацилата).

Разработанные клеи УК-1У и УК-1МУ представляют собой двухкомпонентные составы из кремнийорганических полиолов и органических