

## ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ЭКОЛОГИИ, МЕДИЦИНЫ, БИОЛОГИИ

УДК 621.384.3

### МНОГОЭЛЕМЕНТНЫЙ ТЕПЛОВИЗОР НА ОСНОВЕ НЕОХЛАЖДАЕМОЙ БОЛОМЕТРИЧЕСКОЙ МАТРИЦЫ

© 2012 г. Э. Ю. Гордиенко, Н. И. Глушук, Ю. Я. Пушкарь, Ю. В. Фоменко, Г. В. Шустакова

*Физико-технический институт низких температур им. Б.И. Веркина НАН Украины  
Украина, 61103, Харьков, просп. Ленина, 47*

*E-mail: gordiyenko@ilt.kharkov.ua*

Поступила в редакцию 16. 08.2011 г.

Описана разработанная и изготовленная тепловизионная система на основе коммерческой неохлаждаемой микроболометрической матрицы формата  $384 \times 288$  элементов. Система имеет температурное разрешение  $<0.08^\circ\text{C}$ , пространственное разрешение 0.96 мрад и предназначена для контроля технического состояния объектов теплоэнергетики. Благодаря “открытой архитектуре” и блочной структуре приборной и программной частей система может быть адаптирована для решения любой задачи тепловой диагностики.

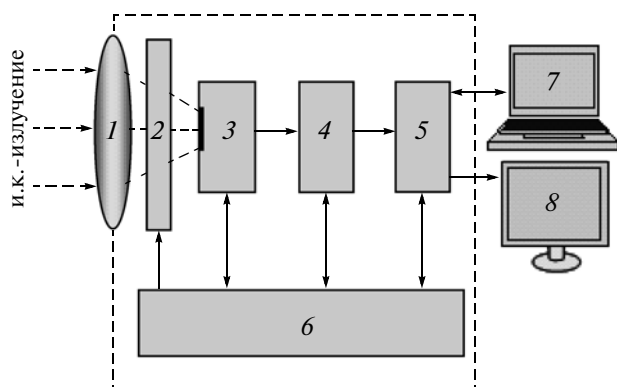
Тепловизионное обследование является эффективным способом контроля технического состояния объектов теплоэнергетики и широко используется в развитых странах. В его основе лежит дистанционная регистрация температурных полей на поверхности зданий и сооружений, теплотехнического и электрического оборудования. Эти поля содержат информацию о процессах теплообмена внутри и снаружи объектов, нарушении однородности теплофизических свойств ограждений, качестве теплоизоляций, дефектах оборудования и др.

Рынок предлагает широкий ассортимент коммерческих тепловизионных систем, в основном, зарубежного производства. Однако для предприятий теплоэнергетики России и Украины возможность проведения регулярного тепловизионного обследования ограничена, с одной стороны, высокой стоимостью таких систем, а с другой — отсутствием в этих системах специализированного программного обеспечения, позволившего бы не только получать тепловые карты поверхностей, но и оперативно количественно оценивать тепловые потери, параметры ограждающих конструкций, характеристики теплоизоляции и т.д. в сравнении с нормативными данными. Такое введение дополнительных функций в программное обеспечение невозможно при использовании серийных тепловизоров, у которых приборная и программная части недоступны для изменений и модернизации. Поэтому для решения конкретных или нестандартных задач разрабатываются, в том числе и за рубежом, специализированные тепловизоры или системы с “открытой архитектурой” [1]. Уровень отечественных разработок тепловизоров, способных стать основой для построения систем, гибко трансформируемых под

специфику конкретной задачи диагностики, в основном, ограничен одноэлементными приборами или приборами на базе охлаждаемых линеек и матриц малого формата. В качестве примеров таких систем можно назвать одноэлементные тепловизоры ИРТИС-2000 (компания ООО ИРТИС/IRTIS, Россия) [2], ТК-1 (Украина) [3, 4], системы на многоэлементных малоформатных охлаждаемых приемниках (Украина) [5] и некоторые другие. Достоинством таких систем является доступность приборной и программной частей, т.е. возможность не только изготовить прибор, оптимально адаптированный под конкретную задачу, но и легко модернизировать его в процессе эксплуатации при изменении задачи. Недостатками перечисленных приборов являются необходимость механического сканирования и охлаждение приемников жидким азотом. Это в значительной степени ограничивает область их применения и обусловлено ценовыми требованиями и отсутствием в России и Украине технологии изготовления качественных неохлаждаемых болометрических матриц большого формата.

В настоящее время некоторые фирмы, специализирующиеся на производстве оптико-электронных приборов, предоставили для свободной продажи ряд разработок инфракрасных (и.к.) модулей OEM (Original Equipment Manufacturer) на основе неохлаждаемых матриц и.к.-детекторов большого формата, оснащенных минимальной электронной обвязкой для формирования видеосигнала в том или ином формате и предназначенных для построения на их основе завершённых тепловизионных систем с необходимыми параметрами.

В данной работе описывается тепловизор, разработанный на основе и.к.-модуля IR112 (неохла-



**Рис. 1.** Блок-схема тепловизионной системы. 1 – объектив; 2 – эталонный излучатель; 3 – модуль IR112; 4 – сигнальный процессор; 5 – интерфейсный модуль; 6 – электронный блок; 7 – п.к. (к.п.к.); 8 – TV-монитор.

ждаемый детектор IR112 – разработка фирмы ULIS, Франция). В состав модуля входят неохлаждаемая матрица болометрических детекторов FPA (Focal Plane Array) из аморфного кремния форматом  $384 \times 288$  элементов [6], объединенная со схемой поэлементного считывания сигнала ROIC (Standard Readout Integrated Circuit), и цифровой препроцессор, обеспечивающий предварительную обработку сигнала (выравнивание чувствительности массива элементов матрицы и др.). Благодаря высоким параметрам преобразования регистрируемого излучения и пространственного разрешения (размер единичного элемента матрицы составляет  $35 \times 35$  мкм), компактности, а также наличию цифрового выхода пользователя, на разъем которого выведены все необходимые для дальнейшего усовершенствования сигналы данных и синхронизации, модуль является идеальной основой для построения завершенных высококачественных систем тепловой диагностики, способных формировать кадры изображения с частотой до 50 Гц.

Для создания тепловизионной системы, рассмотренной в данной работе, модуль IR112 был дополнен необходимыми элементами оптической схемы и электронными блоками. Также в соответствии со спецификой данной задачи было разработано оригинальное программное обеспечение. Функциональная схема разработанной системы представлена на рис. 1.

Фокусировка и.к.-излучения в фокальной плоскости матрицы модуля IR112 (3) осуществляется при помощи германиевого объектива 1. Конструкция прибора предполагает использование нескольких сменных объективов в зависимости от специфики каждой конкретной задачи тепловой диагностики. Так, в дополнение к стандартному германиевому объективу (фокусное рассто-

яние 40 мм), используемому в основном для наблюдения близко расположенных объектов, для высококачественного термографирования объектов теплоэнергетики с большого расстояния был специально разработан и изготовлен семилинзовый германиевый объектив-трансфокатор с двукратным оптическим увеличением (фокусное расстояние 36.2–72.7 мм, относительное отверстие 1 : 1.4, поле зрения  $33\text{--}16.5^\circ$ ).

Цифровой сигнальный процессор ADSP2188 (4) связан с разъемом пользователя модуля IR112 и осуществляет дальнейшую обработку сигналов от элементов матрицы детекторов в цифровой форме. В частности, он выполняет буферизацию кадров изображения в микросхеме статического оперативного запоминающего устройства (о.з.у.) емкостью 512 Кбайт, усреднение кадров изображения в реальном времени для улучшения чувствительности, синхронизацию и пок кадровую передачу данных в интерфейсный электронный модуль 5.

Интерфейсный модуль выполнен на основе микросхемы FT245R, представляющей собой преобразователь цифровых данных в параллельном 8-битном коде в последовательный код, и обеспечивает формирование и передачу цифрового потока данных в персональный компьютер (п.к.) или карманный персональный компьютер (к.п.к.) со скоростью 12 Мбит/с в соответствии со спецификацией стандарта USB 1.1/2.0. Для согласования скоростей формирования кадра изображения и его передачи по USB-каналу в интерфейсном модуле используется дополнительное статическое о.з.у. емкостью 256 Кбайт. Интерфейсный модуль имеет также композитный видеовыход для подключения TV-монитора 8.

Для проведения температурной калибровки измерительного тракта тепловизора используется эталонный излучатель 2 в виде металлической шторки с электромагнитным приводом. Шторка имеет известный коэффициент черноты ( $\approx 0.98$ ), а ее температура контролируется при помощи полупроводникового микротермометра. Цифровой код, соответствующий температуре шторки и формируемый дополнительным 10-битным аналого-цифровым преобразователем, передается в п.к. (к.п.к.) вместе с другой информацией о каждом кадре изображения. В момент калибровки шторка перекрывает поле зрения матрицы таким образом, что электрический сигнал с каждого элемента пропорционален только мощности потока излучения с поверхности шторки.

Взаимодействие и синхронизация отдельных блоков тепловизора, генерация событий от органов управления осуществляется цифровой логикой дополнительного электронного блока 6.

Основные параметры разработанной системы со стандартным объективом следующие: тип приемника FPA ( $384 \times 288$ ); температура приемника –



Рис. 2. Внешний вид тепловизионной системы со стандартным объективом.

неохлаждаемый; спектральный диапазон 8–14 мкм; поле зрения (стандартный объектив) – 21° (по горизонтали) × 16° (по вертикали); угловое разрешение 0.94 мрад; частота кадров – 10 Гц (USB), 30 Гц (TV); температурное разрешение при 30°C –

$<0.08^{\circ}\text{C}$ ; диапазон измеряемых температур  $-20\dots+300^{\circ}\text{C}$ ; точность измерения температуры  $\pm 2\%$ ; габариты  $150 \times 100 \times 105$  мм.

Внешний вид прибора показан на рис. 2.

Визуализация теплового изображения на мониторе п.к. или к.п.к. и управление видеоблоком осуществляются через пользовательские интерфейсы оригинального программного обеспечения, разработанные на языке PPL (Pocket Programming Language) для операционной системы Windows XP (рис. 3) и для операционной системы Windows Mobile.

При разработке программного обеспечения использовался модульный принцип построения программного кода. Это позволяет сравнительно легко расширять или изменять набор функций пользовательского интерфейса в зависимости от конкретных задач тепловой диагностики. Программный пакет имеет широкий набор основных функций: визуализацию теплового изображения на мониторе п.к. (к.п.к.) в цветах выбранной палитры, выбор активной цветовой палитры (чер-

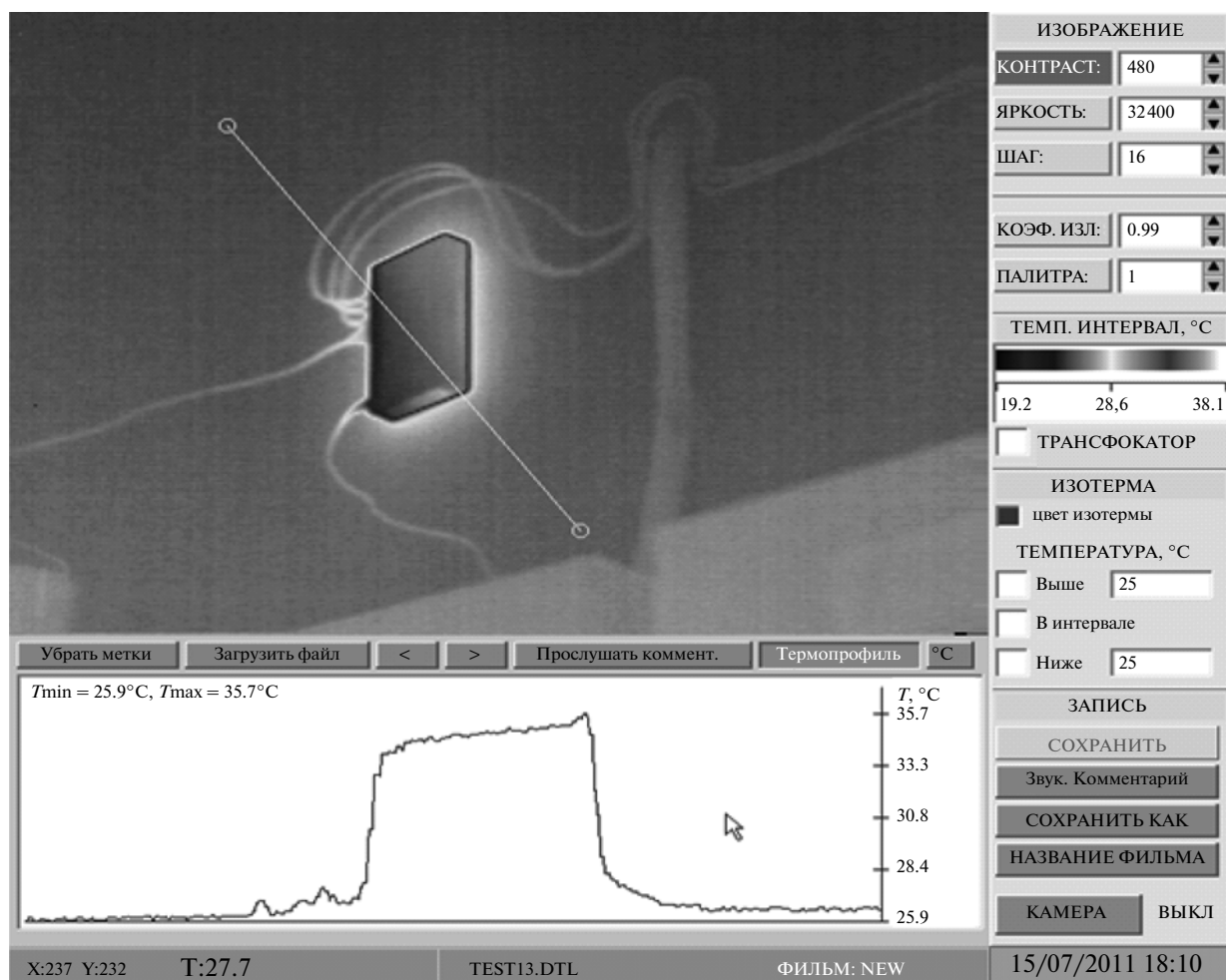


Рис. 3. Главная страница интерфейса для Windows XP.

но-белая и 8 цветных палитр), регулировку яркости и контрастности теплового изображения, индикацию температуры в произвольном участке теплового изображения, построение термопрофилей в любом сечении, построение изотерм, сохранение термограмм и звукового комментария на жестком диске, просмотр сохраненных файлов термограмм и прослушивание звуковых комментариев, копирование графической информации в “буфер обмена” для подготовки отчетов и другие, а также ряд дополнительных функций для теплового анализа объектов теплоэнергетики: измерение коэффициента теплоотдачи, теплосопrotивления, удельных и общих тепловых потерь и др.

Хотя изготовленный образец тепловизора предназначен для теплоэнергетики, блочная структура приборной и программной частей позволяет изменять параметры прибора и блоки программы, соединять систему с другим оборудованием, создавая общий интерфейс, и др. Благодаря такой конструкции разработанная тепловизионная система может быть адаптирована для решения любой задачи тепловой диагностики, в том числе, медицинской или научной.

Работа выполнена при финансовой поддержке НАН Украины в рамках научно-технического проекта “Разработка аппаратурно-программного комплекса для дистанционной регистрации карт тепловых потерь объектов теплоэнергетики с целью оптимизации энергосберегающих технологий”, а также, частично, проекта “Разработка анализатора тепловых полей для научных исследований” (программа научного приборостроения).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Yefremenko V., Gordiyenko E., Shustakova G. et al.* // Rev. Sci. Instrum. 2009. V. 80. P. 056104.
2. *Виноградов В.И., Веретенев И.С., Слезко В.Н. и др.* // Функциональная диагностика. 2005. № 3. С. 72.
3. *Шустакова Г.В.* // Мир техники и технологий. 2006. № 2(51). С. 50.
4. *Гордиенко Э.Ю., Фоменко Ю.В., Шустакова Г.В., Ефимова Г.С.* // Сб. докладов БМИТ-2009 (Биомедицинские информационные технологии в охране здоровья). Киев: Ин-т кибернетики, 2009. С. 185.
5. *Сизов Ф.Ф., Бехтёр О.В., Білевич Е.О. и др.* // Наука та іновації. 2005. Т. 1. № 3. С. 22.
6. *Tissot J.L., Durand F., Garret Th. et al.* // Proc. SPIE. 2010. V. 7660. 7660 OT.