

УДК 621.397

Термографический прибор для контроля движущихся объектов

П. С. Лазарев, М. Г. Мазин, А. В. Сидорин, В. Н. Соляков, Е. О. Тренина,
К. А. Хамидуллин, А. Д. Юдовская

Представлены результаты разработки оптико-электронного прибора малой стоимости, предназначенного для теплового контроля движущихся объектов. Прибор разработан на основе серийно выпускаемого во ФГУП «НПО "Орион"» фотоприемного устройства ФУР-129Л.

PACS: 42.30.Va

Ключевые слова: тепловизионный прибор, тепловой контроль, PbSe, фотоприемное устройство.

Введение

Существует большое количество задач, например, конвейерное производство или контроль подвижного состава на железных дорогах и в метрополитене, в которых необходимо проводить тепловой контроль. В этом случае, имея в виду специфику большого ряда таких задач, требования к оптико-электронному прибору, осуществляющему регистрацию и анализ тепловых полей, могут быть существенно понижены, т. е. не требуется большого количества строк в кадре, да и температурная чувствительность прибора также может быть не очень высокой. Для такого класса применений была проведена разработка анализатора тепловых полей на базе отечественных, серийно выпускаемых, функциональных узлов малой стоимости.

Цель данной работы — создание образца такого прибора, позволяющего обеспечить достаточно высокие технические характеристики при его относительно малой себестоимости.

Основные узлы прибора

Основными узлами оптико-электронного прибора, определяющими его цену, как правило, являются оптический тракт и фотоприемное устрой-

ство (ФПУ). По этой причине в работе были решены следующие основные задачи:

- разработан оптический тракт малой стоимости;
- использовано серийное и достаточно простое ФПУ;
- применены широко распространенные в отечественной промышленности блоки цифровой обработки, сопрягаемые практически с любым персональным компьютером;
- разработано программное обеспечение, позволяющее проводить оцифровку с точностью 12 бит и обработку изображения в реальном времени;
- проведение апробации прибора на конвейере.

Принцип работы прибора.

Существует большое количество приборов, формирующих информационное поле в инфракрасном диапазоне, в том числе тепловизионное изображение, и которые решают задачу теплового контроля. В основном в них используется дорогостоящая элементная база, например, такая, как матричные фотоприемные устройства (МФПУ), довольно дорогие объективы и (в случае использования линейчатых ФПУ) сложные системы механического сканирования.

Для задач теплового анализа большого класса движущихся объектов, используя в приборе сам факт их движения, можно применить широко известный принцип формирования информационного поля на базе реализации ФПУ в виде одной линейки, находящейся в фокальной плоскости объектива. В этом случае в приборе принципиально отсутствует дорогостоящий узел сканирования.

Принцип работы разработанного прибора теплового контроля приведен на рис. 1.

В каждый момент времени в пространстве предметов (контролируемые объекты) прибор "видит" только узкую полосу, соответствующую проекции 64 элементов ФПУ типа ФУР-129Л. По мере движения объектов каждая их часть по-

Лазарев Павел Сергеевич, инженер.
Мазин Максим Геннадьевич, аспирант.
Сидорин Алексей Васильевич, инженер.
Соляков Владимир Николаевич, главный научный сотрудник.
Тренина Елена Олеговна, инженер.
Хамидуллин Камиль Алиевич, аспирант.
Юдовская Александра Дмитриевна, инженер.
ФГУП «НПО "Орион"».
Россия, 111123, Москва, ш. Энтузиастов, 46/2.
E-mail: orion@orion-ir.ru

Статья поступила в редакцию 20 сентября 2011 г.

© Лазарев П. С., Мазин М. Г., Сидорин А. В., Соляков В. Н., Тренина Е. О., Хамидуллин К. А., Юдовская А. Д., 2012

следовательно проходит через поле зрения прибора, формируемое линейкой. В случае формирования тепловизионного изображения необходим датчик скорости, который выдает импульсы для привязки получаемых полосок изображения, формируемых схемой опроса элементов ФПУ. Для варианта прибора, который проводит анализ только тепловых аномалий в информационном поле (конвейерное производство, анализ качества шин и т. д.), наличие датчика не обязательно, так как известна скорость движения привода. Таким образом, информационный кадр формируется последовательным "сшиванием" полученных полосок за счет электронного сканирования элементов ФПУ.

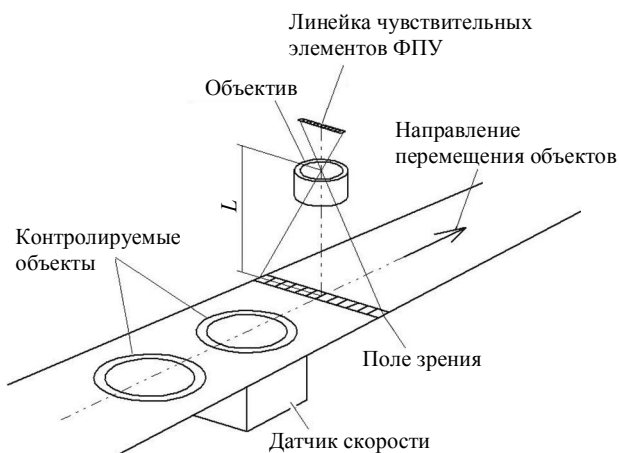


Рис. 1. Принцип построения изображения термографическим датчиком

Функционально такой тепловизионный прибор состоит из следующих структурных элементов:

- объектив;
- ФПУ;
- блок электронной обработки;
- блок индикации и управления;
- программное обеспечение.

Фотоприемное устройство

Поскольку одним из основных требований к ФПУ является его невысокая стоимость, то в приборе было выбрано серийно выпускаемое во ФГУП «НПО "Орион"» ФПУ типа ФУР-129Л.

Устройство выполнено на основе однорядной (1×64 элемента) линейки фоточувствительных элементов (ФЧЭ) размером 0,1×0,1 мм из халькогенида свинца (PbSe). Конструктивно ФПУ состоит из фотоприемника и двух 32-канальных блоков предварительного усиления (БПУ). ФЧЭ охлаждается с помощью двухкаскадной термоэлектрической батареи до температуры 240 К (−33 °С). Диапазон спектральной чувствительности 3–4,8 мкм. Максимальная обнаружительная способность ($\lambda_{\max} = 4,0$ мкм) составляет $D_{\lambda_{\max}}^* = 2 \cdot 10^{10} \text{ Вт}^{-1} \cdot \text{Гц}^{1/2} \cdot \text{см}$.

Объектив

Использование ФПУ на основе PbSe с относительно невысокой чувствительностью накладывает существенные ограничения на оптическую систему. Для обеспечения температурной чувствительности ~0,1 К, сопоставимой с температурной чувствительностью современных приборов, необходимо использование сверхсветосильного объектива с относительным отверстием ~1:0,7.

Задача обеспечения низкой стоимости изготовления объектива была решена за счет применения в нем только кремниевых линз с пологими сферическими радиусами, что существенно повысило технологичность его изготовления. Кроме того, разработанная конструкция позволяет осуществлять сборку объектива насыпным способом.

Как уже было отмечено, размер ФЧЭ, используемого в приборе серийного ФПУ, составляет 0,1×0,1 мм. Учитывая то, что объектив имеет достаточно высокое качество изображения, в перспективе возможен переход на использование приемника формата 2×256 элементов с размером площадки фоточувствительного элемента 0,04×0,04 мм.

На рис. 2 приведена оптическая схема разработанного объектива.



Рис. 2. Оптическая схема объектива:
1, 2, 3 — линзы; 4 — входное окно фотоприемника

Технические характеристики объектива

Рабочий спектральный диапазон, мкм	3,5 – 4,8
Угловое поле, град.	$2\omega = \pm 7,5$
Относительное отверстие	1:0,7
Фокусное расстояние, мм	25
Задний фокальный отрезок, мм	15

70 % полученной энергии сосредоточено в пятне диаметром 40 мкм.

Блок электронной обработки и блок индикации и управления

Блок электронной обработки осуществляет процессы оцифровки и синхронизации сигналов, а также сопряжение с сигналами датчика скорости.

Конструктивно он состоит из двух плат: платы сопряжения и серийно выпускаемой платы оцифровки L-card E14-440D, имеющей до 16 дифференциальных каналов и до 32 каналов относительно общего потенциала. Большим достоинством данной серийной платы является удобный интерфейс USB 2.0 сопряжения с персональным компьютером.

Блок индикации и управления состоит из серийного персонального компьютера (ПК) и специально разработанного программного обеспечения (ПО), написанного с использованием языка программирования Delphi. ПК, являющийся основной составляющей блока индикации и управления, должен иметь два порта USB 2.0 для соединения с платами E14-440D, а также средства вывода информации. Пакет прикладных программ предназначен для формирования изображения исследуемых движущихся предметов.

Конструкция

Прибор конструктивно состоит из двух основных частей: термографической головки и ПК со специализированным ПО.

Термографическая головка включает в себя ИК-объектив, ФПУ и 2 платы аналого-цифрового преобразования (АЦП). Термографическая головка соединена с ПК посредством двух USB-кабелей. Внешний вид прибора приведен на рис. 3.

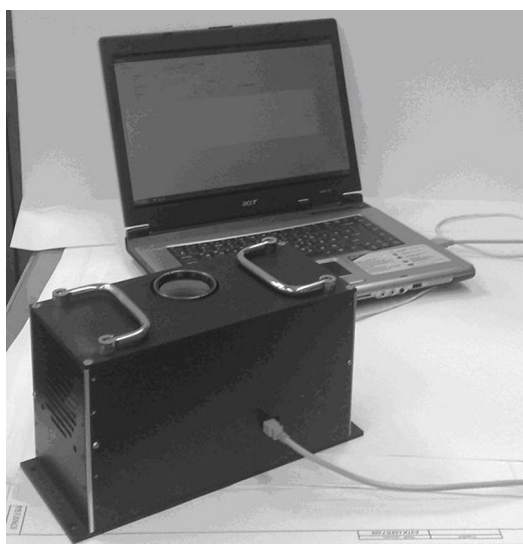


Рис. 3. Внешний вид прибора

Основные характеристики прибора для анализа аномалий тепловых полей приведены ниже.

Наименование параметра, единица измерения	Значение
Спектральный диапазон, мкм.....	3,5—4,8
Температурное разрешение, К.....	0,15
Поле зрения в вертикальном направлении, град.....	15,3

Наименование параметра, единица измерения	Значение
Мгновенное поле зрения, мрад.....	4
Пространственное разрешение в направлении, перпендикулярном направлению движения объектов, пикс, не менее.....	64
Формат ФПУ.....	1×64
Шаг ФЧЭ, мм.....	0,1
Время выхода на режим, мин.....	0,5
Напряжение электропитания, В/Гц.....	~220/50
Потребляемая мощность (без ПК), Вт, не более.....	12
Габаритные размеры (без ПК), мм.....	300×122×200
Масса, кг.....	2,7

С помощью разработанного прибора был проведен большой объем испытаний и его апробации на различных установках (промышленный конвейер с фаянсово-фарфоровыми изделиями, конвейер с изделиями рыбоконсервной промышленности и т. д.). На рис. 4 приведены тепловизионные изображения тест-объекта в виде перекрестия из нихромовых нитей, а также тарелки из фаянса.

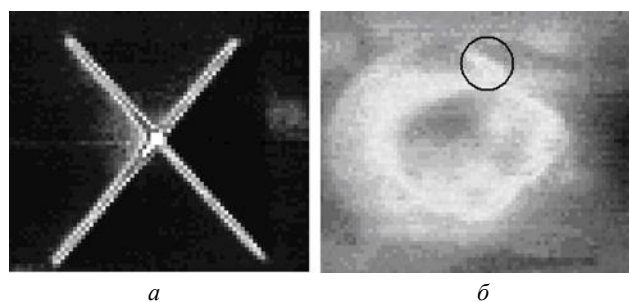


Рис. 4. Тепловизионное изображение тест-объекта (а) и фаянсовой тарелки (б) (выделена область дефекта)

Заключение

В результате проведенных разработок был создан, настроен и апробирован термографический прибор малой стоимости, пригодный для решения задач теплового контроля движущихся объектов. Конструкция разработанного прибора позволяет осуществить его модернизацию за счет замены примененного 64-канального ФПУ на ФПУ с 256 каналами при размере элемента 0,04×0,04 мм из PbSe и 4(8)×288 при размере элемента 0,03×0,03 мм для ФПУ на основе Cd_xHg_{1-x}Te с x = 0,3.

Литература

1. Араkelов Г. А., Магнушевский В. Р., Сивенкова В. Н. // Прикладная физика. 2002. № 2 С. 69.
2. Буткевич В. Г., Бочков В. Д., Глобус Е. Р. // Там же. 2001. № 6.
3. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. — М.: МИР, 1988.
4. Ллойд Дж. Системы тепловидения. — М.: МИР, 1978.
5. Хадсон Р. Инфракрасные системы. — М.: МИР, 1972.

Thermographic device for monitoring of the moving objects

*P. S. Lazarev, M. G. Mazin, A. V. Sidorin, V. N. Solyakov, E. O. Trenina,
K. A. Khamidullin, A. D. Yudovskaya*
Orion R&P Association
46/2 Enthusiast road, Moscow, 111123, Russia
E-mail: orion@orion-ir.ru

Thermographic device for monitoring of the moving objects is presented for study and application. The device has a small cast. It is developed on the base of the FUR 129L photodetector, which is a commercial product of Orion R&P Association.

PACS: 42.30.Va

Keywords: thermal imaging device, thermal monitoring, PbSe, photodetector.

Bibliography — 5 references.

Received September 20, 2011

* * *