

## Тепловизионный прибор для спектрального диапазона 3—5 мкм на основе фотоприемного устройства из антимионида индия

*Л. И. Горелик, М. В. Кортиков, А. В. Полесский, В. Н. Соляков, А. И. Шкетов*

*Представлены результаты разработки тепловизионного прибора на основе выпускаемого ФГУП «НПО "Орион"» фотоэлектронного модуля ФЭМ 7М формирования тепловизионного сигнала (МФТВ), включающего фотоприемное устройство ФУК 11М для спектрального диапазона 3—5 мкм из InSb формата 256×256 элементов и блок цифровой обработки (БЦО).*

PACS: 42.30.Va

*Ключевые слова:* тепловизионный прибор, фотоприемное устройство.

### Введение

В связи с развитием матричных ИК-приемников излучения наметилась тенденция к существенному расширению сфер применения тепловизионных приборов. Такие приборы обладают высокой температурной чувствительностью (до 10 мК) и позволяют достаточно быстро получать тепловое распределение по поверхности объекта. Применение в качестве базового элемента в тепловизионных

приборах матричного фотоприемного устройства (МФПУ) на основе InSb дает возможность получить высокие кадровые частоты (до 1000 Гц), что позволят проводить исследования различных быстротекущих процессов. Такие приборы составляют базу для нового технического направления — скоростной термографии [1—5].

### Тепловизионный прибор

В ФГУП «НПО "Орион"» проведена разработка нового быстродействующего тепловизионного прибора, состоящего из следующих основных частей: охлаждаемого матричного фотоприемного устройства (МФПУ) ФУК 11М, инфракрасного объектива, блока цифровой обработки (БЦО), пульта управления, механизма калибровки, системы охлаждения.

---

**Горелик Леонид Иосифович**, главный специалист.  
**Кортиков Максим Владимирович**, инженер 1-й категории.  
**Полесский Алексей Викторович**, ведущий инженер.  
**Соляков Владимир Николаевич**, начальник НТЦ.  
**Шкетов Алексей Иванович**, главный специалист.  
ФГУП «НПО "Орион"».  
Россия, 111402, Москва, ул. Косинская, 9.  
Тел. (495) 374-88-41. E-mail: orion@orion-ir.ru

*Статья поступила в редакцию 11 декабря 2008 г.*

Внешний вид разработанного тепловизионного прибора приведен на рис. 1.



Рис. 1. Тепловизионный прибор на спектральный диапазон 3—5 мкм

МФПУ ФУК11М (рис. 2), являющийся базовой основой разработанного прибора, имеет следующие технические характеристики:

спектральный диапазон, мкм .....	3—5
материал фоточувствительного слоя .....	InSb
формат .....	256×256
шаг ФЧЭ, мкм .....	35
NETD, мК ( $f/3 = 2$ , $\tau = 0,64$ мс), менее .....	20
рабочая температура, К .....	80
частота кадров, Гц, не более .....	500



Рис. 2. МФПУ ФУК 11М

В целях уменьшения фоновой нагрузки охлаждаемых до азотных температур (и ниже) МФПУ на фоточувствительные элементы матрицы устанавливают охлаждаемые до этих температур диафрагмы.

В МФПУ ФУК 11М размещена охлаждаемая диафрагма, формирующая полезный световой сигнал. Габаритные размеры "холодной" диафрагмы МФПУ приведены на рис. 3.

Применяемый в тепловизионном приборе объектив выполнен с учетом конструктивных размеров "холодной" диафрагмы МФПУ. Структура оптического тракта прибора приведена на рис. 4.

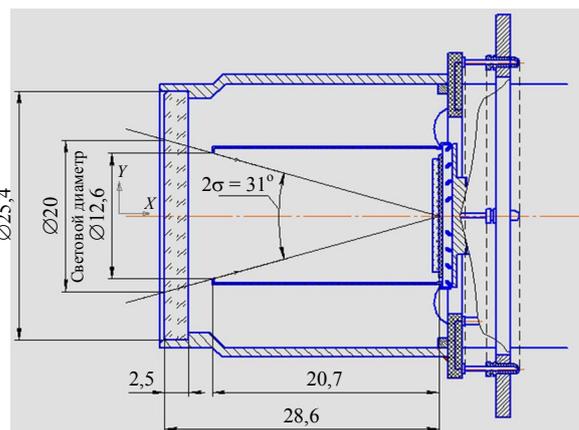


Рис. 3. Оптический тракт фотоприемного устройства

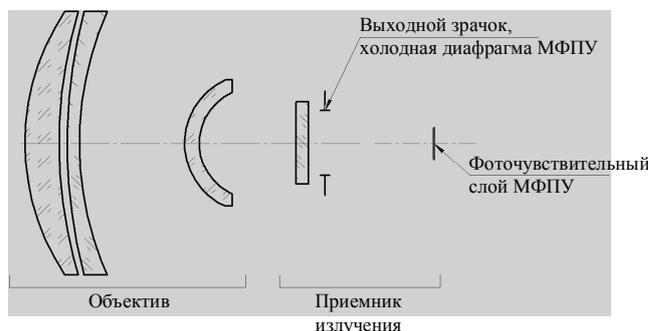


Рис. 4. Оптическая схема тепловизионного прибора

Большинство выпускаемых ранее объективов (как отечественных, так и зарубежных) имели телецентрический ход лучей (оси световых конусов для каждого элемента МФПУ приблизительно перпендикулярны к плоскости фоточувствительного слоя). При наличии "холодной" диафрагмы применение объективов с телецентрическим ходом лучей вызывает срезание части светового потока особенно для крайних элементов матрицы. В целях исключения этого недостатка требуется применение объективов с более сложной оптической структурой: сопряжение выходного зрачка с "холодной" диафрагмой (так называемый режим "cold stop"). В этом случае оптическая схема объектива оказывается жестко привязанной к конкретной конструкции МФПУ и поэтому, как правило, для каждого устройства с "холодной" диафрагмой требуется конкретный специализированный объектив.

Объектив, применяемый в приборе, имеет следующие основные технические характеристики:

фокусное расстояние, мм .....	80
диагональ матрицы, мм .....	12,4
диаметр "холодной" диафрагмы, мм .....	12,6
высота "холодной" диафрагмы, мм .....	22,7
диаметр входного зрачка, мм .....	44
коэффициент пропускания .....	0,80
размер пятна для концентрации энергии 80 %, мкм .....	20

Блок цифровой обработки (рис. 5) выполнен на основе программируемых логических схем и микропроцессора. В модуле используются микросхемы энергонезависимой перепрограммируемой памяти. Модуль имеет стандартный телевизионный и цифровой выходы и обеспечивает выполнение следующих функций: компенсация постоянной составляющей каналов МФПУ и разброс их вольтовой чувствительности; интерполяция или замена сигналов неисправных элементов МФПУ; накопление кадров (до восьми); обеспечение работы автоматического регулирования усиления (АРУ) с использованием фоноцелевой обстановки; регулирование контрастности и яркости; функция "стоп-кадр"; функция управления прибором от панели управления; преобразование позитивного изображения в негативное.

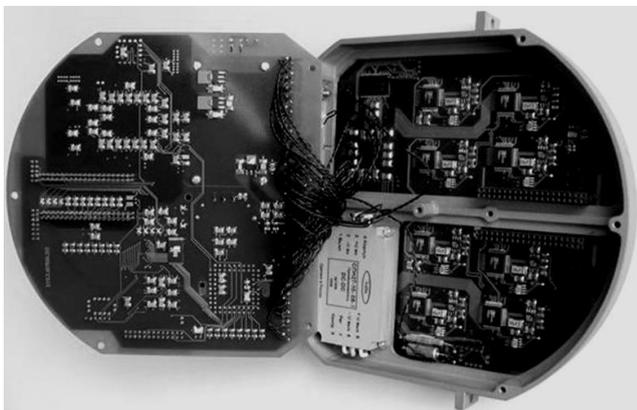


Рис. 5. Внешний вид БЦО

В состав БЦО входят следующие основные функциональные элементы: контроллер вывода информации (КВИ), преобразующий сигнал аналоговой информации от МФПУ в цифровую форму, и формирования кадра вводимого в блок информации процессора обработки видеосигнала (ПОВ), отвечающего за формирование аналогового и цифрового видеосигналов и управление режимами работы БЦО.

Управление режимами БЦО и, как следствие, прибора в целом осуществляется с пульта управления или персонального компьютера, соединенного с БЦО интерфейсом RS-232.

Одна из основных задач, решаемых БЦО, — устранение геометрического шума МФПУ. Геометрический шум возникает в сигналах изображения вследствие неоднородности или разброса характеристик между отдельными пикселями в матричной структуре. В БЦО предусмотрена возможность коррекции геометрического шума.

Для устранения геометрического шума применяется двухточечная коррекция, которая проводится

на основе измерений двух сигналов в каждом канале МФПУ, соответствующим двум уровням засветки матрицы. В качестве этих параметров обычно выбираются уровень сигнала при более низком уровне засветки и дифференциальная чувствительность каждого элемента, определяемая как разность сигналов при двух уровнях засветки.

Исследования МФПУ ФУК 11М, проведенные во ФГУП «НПО "Орион"», показали достаточно высокий уровень технологической отработки изделия и стабильность дифференциальной чувствительности. По этой причине в память БЦО записана информация о дифференциальной чувствительности каналов, получаемая при калибровке по двум уровням освещенности, проводимая на конечном этапе изготовления прибора. В процессе работы с прибором для осуществления коррекции неоднородности используется калибровка по сигналам, создаваемым обтюратором, полностью перекрывающим апертуру МФПУ.

Разработанный тепловизионный прибор имеет следующие основные характеристики:

спектральный диапазон, мкм .....	3—5
поле зрения, град.....	6,4×6,4
формат матричного фотоприемного устройства.....	256×256
температурная чувствительность, К, менее.....	0,03
цифровой интерфейс для управления режимами работы.....	RS-232
установка объективов .....	M72×0,75
габаритные размеры, мм .....	300×195×150
масса, кг, не более .....	3,8

Базовый корпус прибора позволяет разместить МФПУ ФУК 10М, работающее в спектральном диапазоне 8—12 мкм, а также соответствующий оптический тракт на основе "Макро-70", выпускаемого компанией "Макрооптика". Учитывая перспективность двухдиапазонных (3—5 и 8—12 мкм) систем, возможно размещение разработанного во ФГУП «НПО "Орион"» широкоспектрального оптического тракта. В этом случае в приборе предусмотрена установка разрабатываемых на предприятии двухдиапазонных МФПУ и двухканального БЦО.

Для оценки потенциала прибора на спектральный диапазон 3—5 мкм были проведены натурные исследования с использованием оптического тракта с фокусным расстоянием 240 мм (рис. 6). Была получена база данных тепловизионных изображений фонообъектовой обстановки в различных метеоусловиях (зима—весна 2008 г.). Примеры изображений приведены на рис. 7, а, б. Они получены при метеорологической дальности видимости 10 км, температуре окружающей среды +7 °С.



Рис. 6. Внешний вид макета тепловизионного канала с фокусным расстоянием 240 мм



а



б

Рис. 7. Полученные изображения:  
а — телебашни "Останкино", дистанция 18 км; б — самолета, дистанция 35 км

### Заключение

Представлены результаты разработки тепловизионного прибора на основе выпускаемого фотоэлектронного модуля ФЭМ 7М формирования тепловизионного сигнала. Прибор предназначен для работы в диапазоне 3—5 мкм.

### Литература

1. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. — М.: Мир, 1988.
2. Волосов Д. С., Цивкин М. В. Теория и расчет оптических систем. — М.: Искусство, 1960.

3. Чишко В. Ф., Касаткин И. Л., Лопухин А. А., Голубков А. В. Особенности работы и характеристики МФПУ формата 128×128 и 256×256 элементов на основе InSb в режиме "мгновенной фотографии" и конвейерного считывания: Тез. XIX Междунар. конф. по фотоэлектронике и приборам ночного видения. — М., 2006.

4. Соляков В. Н., Кортиков М. В. Модуль формирования тепловизионного сигнала на базе матричного фотоприемного устройства из InSb: Тез. XX Всерос. межвуз. науч.-техн. конф. "Электромеханический и внутрикамерные процессы в энергетических установках, струйная акустика и диагностика, приборы и методы контроля окружающей среды, веществ, минералов и изделий". — Казань, 2008.

5. Соляков В. Н., Полесский А. В. Тепловизионный прибор для спектрального диапазона 3—5 мкм: Там же.

## IR camera based on InSb

L. I. Gorelik, M. V. Kortikov, A. V. Polessky, V. N. Solyakov, A. I. Shketov  
Orion Research-and-Production Association, 9 Kosinskaya str., Moscow, 111402, Russia  
E-mail: orion@orion-ir.ru

*The results of modern industrial MWIR camera design were described. General technical data and description of the camera are presented in the work.*

PACS: 42.30.Va

Keywords: thermal imager, MWIR, camera design.

Bibliography — 5 references.

Received 11 December 2008