

ОПТИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ

УДК 621.384

ТЕПЛОВИЗИОННЫЙ ПРИБОР ТПВ-1М2 С УЛУЧШЕННЫМ РАСТРОМ ИЗОБРАЖЕНИЯ

© 2004 г. А. В. Медведев; М. И. Гундяк; В. Д. Иваницкий; С. Н. Князева

ОАО "Ростовский оптико-механический завод", г. Ростов Ярославской обл.
E-mail: info@romz.ru

Представлено краткое описание малогабаритного тепловизора ТПВ-1М2 с улучшенным растром изображения. Приведен анализ раstra, создаваемого светодиодным излучающим модулем тепловизионного прибора при оптико-механическом сканировании. Улучшение раstra достигается за счет изменения топологии светодиодного излучающего модуля, при котором обеспечивается перекрытие соседних строк раstra.

Коды OCIS: 120.6820.

Поступила в редакцию 09.04.2003.

В тепловизионных приборах с оптико-механическим сканированием со светодиодной индикацией для формирования раstra (кадра изображения) с числом строк 64 и более применяется зонное сканирование, при котором происходит наложение зон, формируемых светодиодным излучающим модулем (СИМ)-линейкой. Для раstra с чересстрочным сканированием топология СИМ такова, что пропуски между светоизлучающими элементами (СИЭ) равны линейным размерам СИЭ. В этом случае при сканировании происходит наложение двух зон со сдвигом (поперек раstra) на один элемент, что обеспечивает заполнение раstra без пропусков. При формировании изображения в таких тепловизорах [1] используется прецизионное сканирующее устройство. Отклонение положения зеркал сканирующего устройства от расчетных значений приводит к появлению пропусков (переналожений) строк раstra.

Необходимо отметить, что использование сложных, высокоточных сканирующих систем существенно влияет на стоимость тепловизионных приборов. С целью создания и производства недорогих коммерческих тепловизионных приборов в ОАО "Ростовский оптико-механический завод" был разработан тепловизионный прибор ТПВ-1 [2, 3].

В приборе ТПВ-1 для создания изображения используются инфракрасный (ИК) объектив; линейка фоточувствительных элементов (ФЧЭ) фотоприемного устройства (ФПУ); оптико-механическое сканирующее устройство, состоящее из одного зеркала с двумя отражающими гранями, обеспечивающее сканирование по горизонту; линейка светоизлучающих элементов светоизлучающего модуля; монокулярный визуальный канал. Топология (размеры и

расположение) ФЧЭ и СИЭ одинаковая; линейки ФПУ и СИМ расположены вертикально. В ТПВ-1 применены СИМ с топологией, представленной на рис. 1а (вариант 1). СИЭ расположены в шахматном порядке для исключения межстрочных пропусков при формировании раstra в визуальном канале тепловизора. Топология ФЧЭ тепловизионных приборов такая же, как и у СИМ, поэтому при сканировании вертикальных прямолинейных элементов в поле зрения было выявлено, что оператор наблюдает искажения. Эти искажения представляют собой смещение четных строк раstra относительно нечетных на величину (размер) СИЭ, при этом вертикальные края предметов имеют рваные (ступенчатые) края, как показано на рис. 1а. Наличие такого эффекта снижает угловое и температурное разрешение тепловизионного прибора.

Для устранения данного недостатка в приборе ТПВ-1М1 был использован светоизлучающий модуль, у которого излучающие элементы расположены линейно, как показано на рис. 1б. В таком тепловизоре уже не наблюдалось разрыва вертикальных линий (контуров) предметов, но при этом растр, наблюдаемый оператором, был с черными пропусками, обусловленными межэлементными зазорами в светоизлучающем модуле. Уменьшить зазоры между элементами модуля менее 10 мкм невозможно из-за технологических ограничений при изготовлении СИМ и ФПУ в связи с тем, что топология СИМ и ФПУ должна быть одинаковой.

Для устранения межстрочных пропусков в растре в ТПВ-1М2 было принято решение использовать модуль с топологией, представленной на рис. 2. Межэлементные зазоры раstra с таким модулем

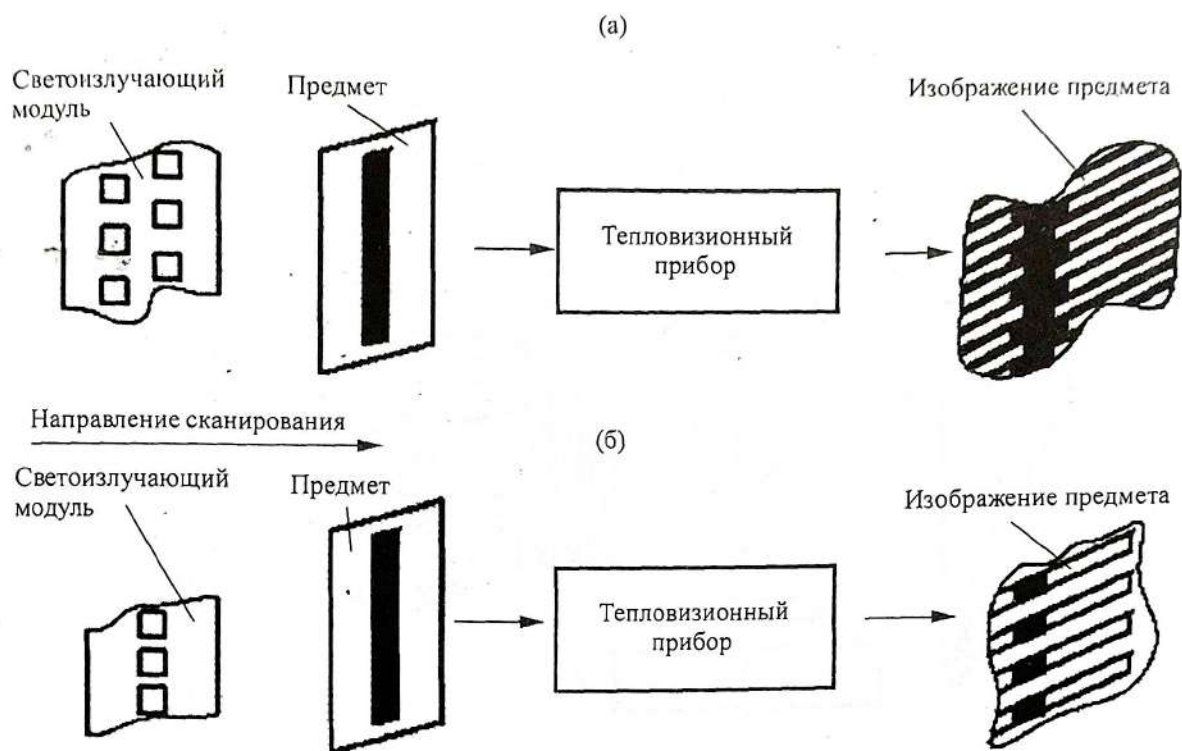


Рис. 1. Формирование изображения в тепловизионном приборе ТПВ-1 светодиодами модулями различной топологии. а – вариант 1, б – вариант 2.

исключаются благодаря новой геометрии элементов СИМ, при которой осуществляется перекрытие соседних элементов при сканировании (сканирование производится в направлении, перпендикулярном оси СИМ). Это достигается за счет использования скошенных горизонтальных границ элементов

СИМ, как показано на рис. 2а, или ступенчатого зазора между горизонтальными границами элементов, как показано на рис. 2б. На рис. 2 представлена топология двух вариантов СИМ. Для варианта 1 с наклонными краями величина зазора b может быть в пределах от 8 до 15 мкм при существующей тех-

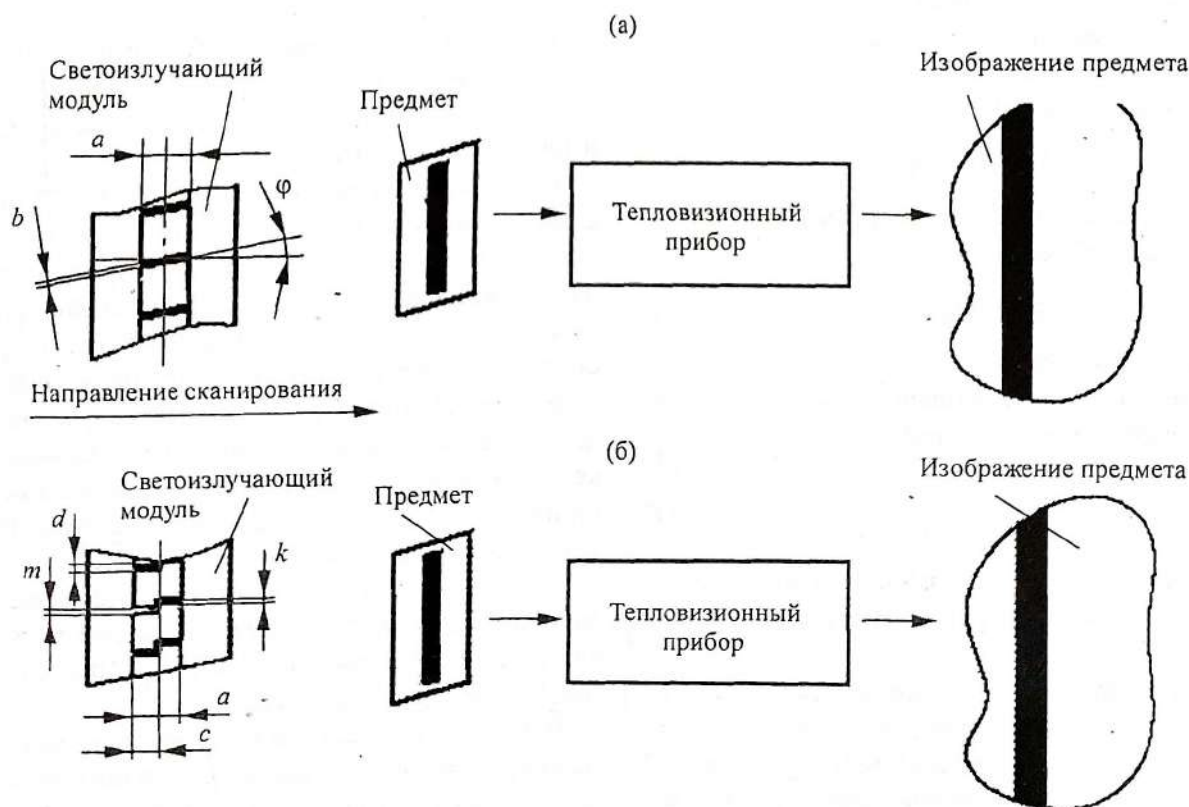


Рис. 2. Формирование изображения в тепловизионном приборе ТПВ-1М2 светодиодами модулями различной топологии. а – вариант 1, б – вариант 2.

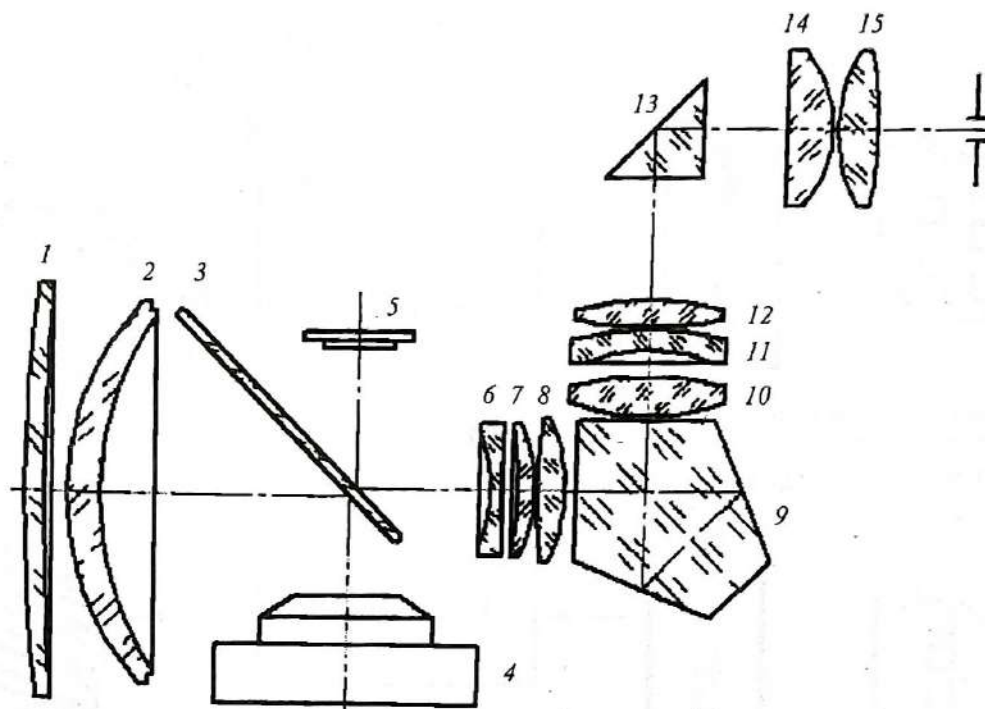


Рис. 3. Оптическая схема тепловизионного прибора ТПВ-1М2 (пояснения в тексте).

нологии изготовления СИМ; угол φ должен составлять от 5° до 20° и зависит от конструктивных параметров составных частей тепловизора, типа ФПУ и СИМ. Величина угла наклона φ и ширина зазора b определяют яркость свечения межстрочных зазоров раstra, которая зависит от отношения S_z и S_n , где S_z – площадь зазора между соседними элементами, S_n – площадь двух соседних элементов, которые перекрывают зазор между соседними элементами при сканировании,

$$S_z = ba/\cos\varphi \quad (1)$$

(b – ширина зазора между элементами, a – размер световоспринимающей площадки),

$$S_n = a^2 \tan\varphi \quad (2)$$

(φ – угол наклона грани).

Отношение, определяющее яркость свечения межстрочных промежутков раstra, имеет вид

$$\eta = \frac{S_z}{S_n} = \frac{b}{a \sin\varphi} \quad (3)$$

Оптимальное значение η зависит от конкретных типов ФПУ, СИМ, конструкции тепловизора и находится в пределах от 0,3 до 1.

Для варианта 2 со ступенчатым зазором между СИЭ (рис. 2б) величина зазора m , k может быть в пределах от 8 до 15 мкм, определяется существующей технологией изготовления световоспринимающих модулей. Вертикальный зазор n определяет межстрочную яркость раstra, его величина должна быть

в пределах от $0,3a$ до $0,5a$. При этом линейный размер c должен быть в пределах от $0,2a$ до $0,5a$.

При использовании такого СИМ растр, наблюдаемый оператором через окуляр тепловизионного прибора, не имеет пропусков, а также разрывов вертикальных контуров предметов в поле зрения тепловизора.

При этом для повышения разрешения тепловизора по вертикали (поперек раstra) целесообразно, чтобы топология элементов ФПУ была такой же, как и топология элементов СИМ.

Оптическая схема тепловизора ТПВ-1М2 представлена на рис. 3. ИК излучение от объектов фокусируется светосильным ИК объективом, состоящим из двух кремниевых линз 1 и 2, на линейку фоточувствительных элементов 4 ФПУ. Фокусное расстояние ИК объектива равно 75,2 мм, относительное отверстие 1:1. После объектива ИК излучение падает на зеркало 3 с двухсторонним зеркальным покрытием, которое осуществляет сканирование по горизонту в пространстве предметов. Линейка ФПУ установлена вертикально.

Для формирования видимого изображения объектов без геометрических искажений в тепловизоре ТПВ-1М2 применены ФПУ и СИМ с одинаковой топологией элементов.

В тепловизоре осуществляется параллельное сканирование с параллельной обработкой видеосигнала и выводом его на световоспринимающий модуль, в качестве которого используется светодиодная линейка с красным свечением элементов.

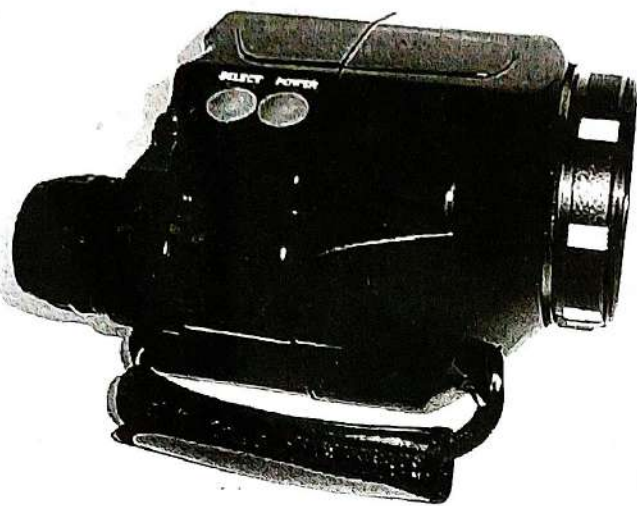


Рис. 4. Внешний вид малогабаритного тепловизора ТПВ-1М2.

В визуальном канале излучение от СИМ, расположенного в фокальной плоскости коллимационного объектива (6–8), падает на вторую зеркальную грань сканирующего зеркала. Использование общего сканирующего элемента для ИК и визуального каналов обеспечивает отсутствие искажений при формировании раstra в визуальном канале.

Фокусное расстояние коллимационного объектива равно 75,4 мм. После коллимационного объектива излучение падает на пентапризму 9 типа БП-90, которая совместно с призмой 13 типа АР-90 переворачивает изображение в горизонтальной плоскости. Кроме того, пентапризма 9 ломает ход лучей на 90°, уменьшая габариты тепловизора. После пентапризмы параллельный пучок лучей попадает в телескопическую систему, состоящую из объектива (10–12) и окуляра (14, 15). Фокусное расстояние объектива телескопической системы 41,8 мм, окуляра 21,6 мм. На выходной грани призмы 13 при сканировании зеркалом 3 формируется видимое изображение предметов, которое через окуляр рассматривает оператор.

Общий вид прибора ТПВ-1М2 представлен на рис. 4.

Основные характеристики тепловизора ТПВ-1М2 приведены в таблице.

Для обеспечения длительной работы ТПВ-1М2 без замены источника питания и его подзаряда в приборе предусмотрен экономичный режим работы термоэлектрического холодильника ФПУ. Для уменьшения потребления электрического тока предварительное охлаждение термоэлектрического охладителя (ТЭО) производится включением тумблера и подачей на ТЭО тока порядка 0,1 А, в дальнейшем при наблюдении оператором необходимо нажать на кнопку без фиксации, и ток через ТЭО возрастает до рабочего значения 1 А на время, заданное электронным таймером (около 1 мин). ТЭО в течение

Основные технические характеристики тепловизора ТПВ-1М2

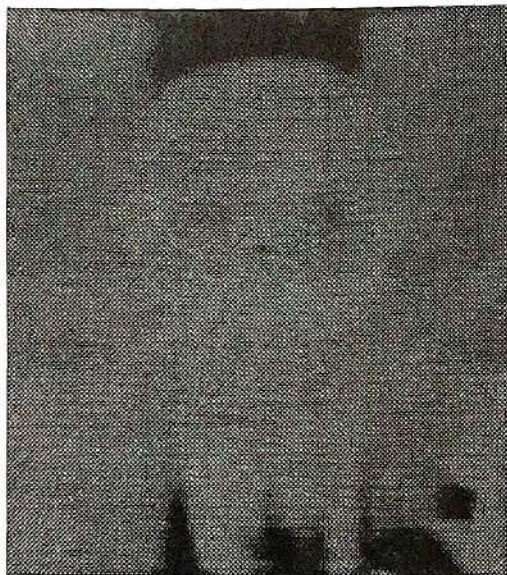
Характеристика	Значение
Увеличение, крат	2
Поле зрения	
по вертикали не менее, град	4,5
по горизонтали не менее, град	9
Температурная разрешающая способность не более, К	0,15
Дальность видения объекта типа "человек" не менее, м	700
Геометрическая разрешающая способность, мрад	1,4
Рабочий спектральный диапазон, мкм	от 3 до 5
Формат кадра	64×128
Частота кадров не менее, кадр/с	30
Цвет свечения экрана	красный
Питание	Аккумулятор CGP-D28-7,2V-2800 mAh Panasonic
Время непрерывной работы от аккумулятора не менее, час	3
Габаритные размеры, мм	154×157×112
Масса, кг	1,1

нескольких секунд выходит на рабочий режим охлаждения и поддерживает требуемую температуру на ФЧЭ во время наблюдения. При продолжении наблюдения оператор повторно, в среднем один раз в минуту, нажимает на кнопку для поддержания рабочей температуры на ФЧЭ. Если в процессе наблюдения требуется сделать перерыв, то во время перерыва на ТЭО подается ток 0,1 А, поддерживающий тепловизионный прибор в постоянной готовности.

В процессе испытаний первых образцов тепловизоров ТПВ-1 было обнаружено, что ФПУ регистрирует не только тепловую составляющую излучения от наблюдаемых объектов (длина волны более 2 мкм), но и отраженную составляющую ближней ИК области спектра (от 1 до 2 мкм), что обусловлено спектральной характеристикой ФПУ, определяемой свойствами материалов ФЧЭ (PbSe) и защитного стекла (сапфир) ФПУ. При наличии значительной составляющей в диапазоне от 2 до 3 мкм обнаружение излучения объектов в тепловизионном диапазоне от 3 до 5 мкм становится затруднительным.

Для решения данной проблемы было предложено использовать фильтр, отсекающий излучение в спектральном диапазоне до 3 мкм, который устанавливается при необходимости на объектив, или применить в ФПУ защитное стекло из просветленного германия.

(а)



(б)

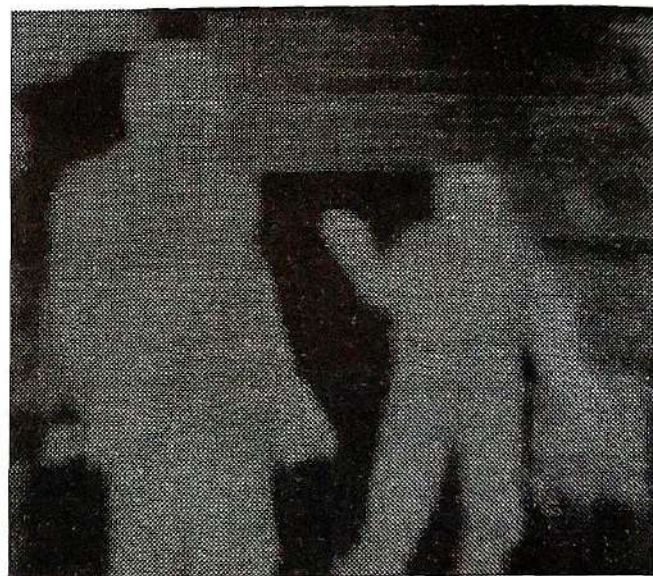


Рис. 5. Примеры тепловых изображений, полученных с помощью тепловизора ТПВ-1М2. Запись произведена цифровым фотоаппаратом через окуляр тепловизора.

Использование достаточно простой конструкции оптико-механического устройства, а также светоизлучающего модуля с топологией, описанной выше, позволило создать тепловизионный прибор ТПВ-1М2 с характеристиками, обеспечивающими выполнение многих прикладных задач по обнаружению нагретых объектов, а также тепловых аномалий в различных областях деятельности человека: охрана объектов, диагностика промышленных установок и другие (рис. 5).

ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров А.С., Омелаев А.И., Филипов В.Л. Введение в технику разработки и оценки сканирующих тепловизионных систем. Казань: Унипресс, 1998.
2. Медведев А.В. Малогабаритный тепловизор ТПВ-1 // Оптический журнал. 1999. № 12. С.49–50.
3. Медведев А.В., Гринкевич А.В., Князева С.Н. Малогабаритный тепловизионный прибор // Патент РФ № 2137319, 1998.