

УДК 535.317.2

## Оптическая система с двумя полями зрения для тепловизионных приборов на основе матричных фотоприемных устройств

Е. О. Ульянова

*Представлена оптическая система с двумя полями зрения для тепловизионных приборов на основе матричных фотоприемных устройств спектрального диапазона 8—12 мкм. Оптическая система имеет промежуточную плоскость изображения, расположенную между фронтальной и проекционной частями объектива. Смена полей зрения осуществляется заменой линз фронтальной части объектива. Приводятся основные параметры и характеристики оптической системы, а также оценка качества изображения.*

PACS: 42.79.-e

*Ключевые слова:* оптическая система, объектив, тепловизионный прибор.

### Введение

Оптические системы с двумя полями зрения широко используются в составе тепловизионных приборов, работающих в спектральном диапазоне 8—12 мкм. Для повышения функциональности в тепловизионных системах, как правило, необходимо менять поле зрения, так как поиск и обнаружение объекта обеспечивается в широком поле зрения, а опознавание объекта на максимальной дальности — в узком поле зрения.

Формально любая оптическая система тепловизионного прибора, независимо от типа используемых приемников, представляет собой объектив. Входные параметры этого объектива выбираются исходя из требований назначения и габаритных ограничений. Выходные параметры и схема построения выбираются, главным образом, в зависимости от типа применяемого фотоприемного устройства (ФПУ).

При построении оптических систем тепловизионных приборов на основе охлаждаемых ФПУ одной из основных проблем является реализация смены поля зрения. В данной работе представлена оптическая система с двумя полями зрения, рассмотрены принцип построения оптической схемы и способ смены поля зрения.

### Способы смены поля зрения в оптических системах

Существуют различные способы смены поля зрения в оптических системах:

замена объективов, используя револьверный механизм (револьверный метод);

замена отдельных компонентов объектива [1];

перемещение компонентов объектива вдоль оптической оси (метод панкратической смены поля зрения) [2, 3].

К основным достоинствам *револьверного метода* относится то, что данный метод позволяет получить максимально возможное качество изображения для реализуемых полей зрения при минимальном количестве компонентов оптического канала, причем расчет каналов достаточно прост и обладает относительно низкой трудоемкостью. Основными недостатками метода являются увеличенные массогабаритные характеристики, ограниченное количество допустимых увеличений (как правило 2, реже 3), необходимость использования прецизионных механизмов для больших масс. При этом способы реализации фокусировки и компенсации термоаббераций отличаются от способов организации смены увеличения. Наличие нескольких различных типов механизмов и ограничение набора полей зрения является проблемным местом для данного метода организации смены увеличения. С одной стороны, свойственные этому методу недостатки не позволяют рекомендовать его использование в конечных изделиях для переносных и носимых систем, с другой — данный метод является одним из наиболее подходящих для стационарных систем, которые жестко не ограничены габаритными размерами.

---

Ульянова Елена Олеговна, младший научный сотрудник.  
Институт физики полупроводников СО РАН,  
Новосибирский филиал "Конструкторско-технологический  
институт прикладной микроэлектроники".  
Россия, 630090, г. Новосибирск, просп. Ак. Лаврентьева, 2/1.  
Тел. (383) 330-97-49. E-mail: helen@oesd.ru

Статья поступила в редакцию 20 августа 2011 г.

---

© Ульянова Е. О., 2012

Схема построения оптической системы, в которой смена поля зрения осуществляется *заменой отдельных компонентов объектива*, позволяет получить более приемлемые массогабаритные характеристики по сравнению с револьверным методом. Это обеспечивает возможность применения метода в небольших приборах за счет замены отдельных линз, а не всего объектива. К достоинствам данного метода также можно отнести более высокое качество изображения по сравнению с панкратическими системами. Для обеспечения максимальной дальности распознавания при организации смены поля зрения при данном методе желательно организовать оптическую схему таким образом, чтобы в узком поле зрения (УПЗ) количество компонентов было меньше, чем в широком поле зрения (ШПЗ). Оптимальное количество элементов во фронтальной части объектива в спектральном диапазоне 8—12 мкм составляет 2 компонента для УПЗ, а для ШПЗ — 3 компонента без использования асферических поверхностей. При этом проекционная часть объектива, расположенная за плоскостью промежуточного изображения, должна содержать не более четырех компонентов без использования асферических поверхностей.

*Метод панкратической смены* поля зрения позволяет производить плавную смену поля зрения перемещением компонентов вдоль оптической оси. К основным достоинствам относится то, что смена поля зрения, фокусировка и компенсация терморасстраиваемости производятся по одним и тем же принципам, причем с использованием унифицированных механизмов. К основным недостаткам данного метода смены поля зрения относится сложность расчета панкратических систем и большее количество компонентов по сравнению с системами на основе замены компонентов, что приводит к снижению коэффициента пропускания оптического канала и, соответственно, к ухудшению предельных характеристик прибора в целом. Также затруднительно получение одинакового качества изображения во всем диапазоне фокусных расстояний по сравнению с системами, в которых смена поля зрения осуществляется двумя вышерассмотренными способами.

#### **Пример реализации оптической системы с двумя полями зрения для тепловизионных приборов**

В Новосибирском Филиале ИФП СО РАН "КТИПМ" была разработана оптическая система с двумя полями зрения для ИК-области спектра, смена поля зрения в которой осуществляется заменой отдельных компонентов в объективе. Представленная оптическая система с двумя полями зрения предназначена для формирования изображения в плоскости охлаждаемого матричного

ФПУ (МФПУ) спектрального диапазона 7,7—10,3 мкм с форматом кадра 320×256 элементов и шагом между чувствительными элементами 30 мкм. Разработанная оптическая система может быть сопряжена как с охлаждаемыми МФПУ фирмы Sofradir, так и с охлаждаемым матричным приемником, разработанным в ИФП СО РАН, формат и технические характеристики которого позволяют создавать матричные тепловизионные приборы, аналогичные зарубежным.

Для того чтобы предотвратить попадание на ФПУ собственного или рассеянного излучения оптических деталей, их оправ или других элементов конструкции и тем самым не снизить контраст наблюдаемого изображения и чувствительность тепловизионного прибора, в конструкции криостата предусмотрена охлаждаемая диафрагма. При сопряжении оптической системы с охлаждаемым ФПУ эта диафрагма также выполняет функцию апертурной, т. е. не допускает попадания на ФПУ постороннего излучения вне пределов заднего апертурного угла [4]. При данной конструкции оптимальной оптической системой для ФПУ будет система, у которой выходной зрачок совмещен с охлаждаемой диафрагмой криостата. Оптическая система строится по следующему принципу: фронтальная часть объектива формирует промежуточное изображение, а проекционная часть проецирует данное изображение в плоскость фоточувствительных элементов матричного ФПУ и, кроме того, компенсирует остаточные aberrации фронтальной части объектива. Данный принцип построения оптической схемы приводит к усложнению оптической системы, но позволяет значительно уменьшить диаметры фронтальных линз и длину всей оптической системы, а также достичь оптимального сочетания между качеством изображения, даваемого оптической системой, и параметрами охлаждаемого МФПУ.

Представленная оптическая система с двумя полями зрения имеет промежуточную плоскость изображения, что позволяет применение взаимозаменяемых линзовых компонентов во фронтальной части объектива для смены поля зрения, а также возможность установки калибровочных устройств в месте наименьших световых диаметров. Все компоненты оптической системы выполнены из германия и селенида цинка и имеют сферические поверхности. Смена поля зрения осуществляется заменой компонентов фронтальной части объектива, при этом проекционная часть остается неизменной.

На рис. 1 и 2 представлены оптические схемы каналов широкого и узкого полей зрения разработанной оптической системы с двумя полями зрения.

В табл. 1 приведены основные характеристики разработанной оптической системы с двумя полями зрения.

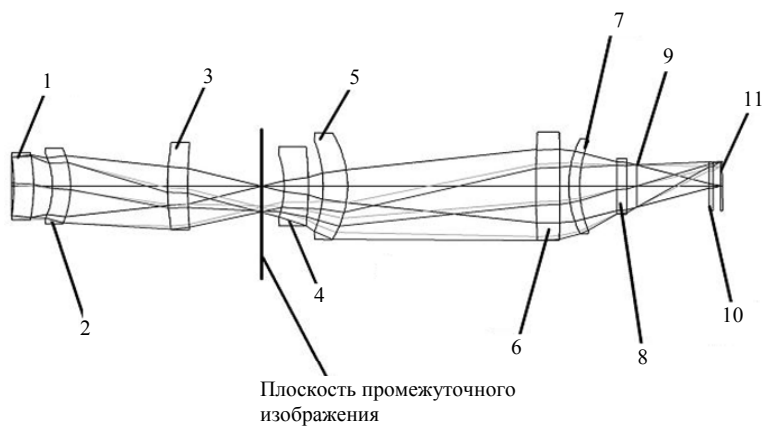


Рис. 1. Оптическая схема канала широкого поля зрения:

- 1—3 — фронтальная часть объектива;
- 4—7 — проекционная часть объектива;
- 8 — входное окно криостата; 9 — охлаждаемая диафрагма; 10 — охлаждаемый фильтр;
- 11 — плоскость фоточувствительных элементов матричного ФПУ

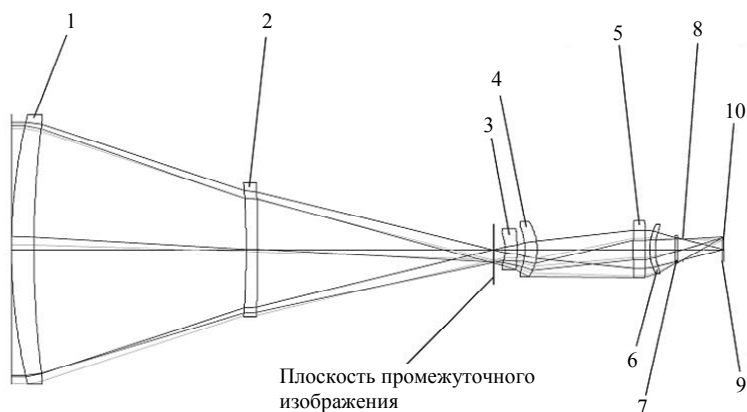


Рис. 2. Оптическая схема канала узкого поля зрения:

- 1—2 — фронтальная часть объектива;
- 3—6 — проекционная часть объектива;
- 7 — входное окно криостата; 8 — охлаждаемая диафрагма; 9 — охлаждаемый фильтр;
- 10 — плоскость фоточувствительных элементов матричного ФПУ

Таблица 1

**Опtotехнические и габаритные характеристики оптической системы с двумя полями зрения для тепловизионных приборов на основе охлаждаемых МФПУ**

Угловое поле зрения ( $2\omega$ ), град (по диагонали кадра)	2,77	23,3
Фокусное расстояние, мм	250	30
Относительное отверстие	1:1,93	1:1,94
Спектральный диапазон работы, мкм	7,7—10,3	7,7—10,3
Длина, мм	350	175
Масса, г	900	75

Качество изображения разработанной оптической системы с двумя полями зрения оценивается с помощью параметров кружка рассеяния, модуляционной передаточной функции (МПФ) и функ-

ции концентрации энергии (ФКЭ). Эти параметры представленной оптической системы приведены в табл. 2—5 в сравнении с дифракционно-ограниченной системой.

Таблица 2

**Модуляционная передаточная функция канала широкого поля зрения**

Пространств. частота $\nu$ , мм <sup>-1</sup>	Точка на оси ( $\omega = 0^\circ$ )	Точка в зоне ( $\omega = 18,73^\circ$ )	Точка на краю ( $\omega = 23,3^\circ$ )	Дифракционно-ограниченная система
10	0,76	0,73	0,69	0,78
15	0,64	0,58	0,53	0,67
20	0,52	0,45	0,38	0,56
25	0,43	0,33	0,26	0,45
30	0,34	0,23	0,17	0,36

Таблица 3

## Модуляционная передаточная функция канала узкого поля зрения

Пространств. частота $\nu$ , мм <sup>-1</sup>	Точка на оси ( $\omega = 0^\circ$ )	Точка в зоне ( $\omega = 2,22^\circ$ )	Точка на краю ( $\omega = 2,77^\circ$ )	Дифракционно-ограниченная система
10	0,70	0,71	0,69	0,78
15	0,54	0,55	0,53	0,67
20	0,42	0,44	0,41	0,56
25	0,34	0,36	0,32	0,46
30	0,29	0,29	0,24	0,36

Таблица 4

## Функция концентрации энергии канала широкого поля зрения

Радиус пятна, мкм	Точка на оси ( $\omega = 0^\circ$ )	Точка в зоне ( $\omega = 18,73^\circ$ )	Точка на краю ( $\omega = 23,3^\circ$ )	Дифракционно-ограниченная система
12,5	0,69	0,65	0,59	0,71
15	0,76	0,74	0,69	0,79

Таблица 5

## Функция концентрации энергии канала узкого поля зрения

Радиус пятна, мкм	Точка на оси ( $\omega = 0^\circ$ )	Точка в зоне ( $\omega = 2,22^\circ$ )	Точка на краю ( $\omega = 2,77^\circ$ )	Дифракционно-ограниченная система
12,5	0,62	0,60	0,59	0,71
15	0,69	0,67	0,65	0,79

## Заключение

Приведенные данные показывают хорошее качество разработанной оптической системы с двумя полями зрения. Геометрический радиус кружка рассеяния точки не превышает величину 17 мкм (канал широкого поля зрения) и 23 мкм (канал узкого поля зрения) по краям полей зрения. Представленная оптическая система обладает разрешающей способностью, позволяющей использовать ее в тепловизионных приборах на основе

охлаждаемых МФПУ для решения задач обнаружения, распознавания и идентификации объектов наблюдения.

## Литература

1. Iain A. Neil. // U. S. Patent No 4,469,396. 4 Sept., 1984.
2. Roberts M. // Patent EP 0,278,777 A2. 12 Feb., 1988.
3. Кергет И. В., Корнейчик В. Л., Кудряшов А. А. // Прикладная физика. 2000. № 6. С. 11.
4. Тарасов В. В., Якушенков Ю. Г. Инфракрасные системы "смотрящего" типа. — М.: Логос, 2004.

## Optical system with two fields of view for thermal imaging devices based on the array photoreceivers

*E. O. Ulyanova*

Novosibirsk Branch of the Institute of Semiconductor Physics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Technological Design Institute of Applied Microelectronics  
2/1 Academician Lavrentiev av., 630090, Novosibirsk, Russia  
E-mail: helen@oesd.ru

*The optical system with two fields of view for cooled thermal imaging devices operating in the spectral region 8—12  $\mu\text{m}$  is presented in the paper. The optical system has an intermediate image plane which locates between frontal and relay parts of the objective lens. The switching of the fields of view implements by changing of the lenses of the frontal part of the objective lens. The optical system of the thermal imaging device, its main parameters and technical characteristics are given in the paper as well as evaluation of its image quality.*

PACS: 42.79.-e

*Keywords:* optical system, objective lens, thermal imaging device.

Bibliography — 4 references.

*Received August 20, 2011*