

# Физическая аппаратура

УДК 621.397

## Двухдиапазонный инфракрасный объектив

Л.И. Горелик, А.В. Полесский, Н.А. Семенченко, К.А. Хамидуллин, А.Д. Юдовская

*Приведены результаты разработки двухдиапазонного инфракрасного объектива, построенного на основе трех сферических компонентов. Объектив характеризуется дифракционным качеством изображения и обладает высоким пропусканием без просветления компонентов объектива. Приведены результаты расчетных исследований по созданию ряда двухдиапазонных объективов дифракционного качества.*

PACS: 42.30.Va

Ключевые слова: двухдиапазонный объектив, инфракрасная техника, MWIR, LWIR.

### Введение

Наиболее перспективным направлением повышения информативности и, как следствие, эффективности современных инфракрасных оптико-электронных систем является использование в них каналов, работающих одновременно в нескольких областях спектра. В настоящее время как в нашей стране, так и за рубежом проблеме создания двух- и многодиапазонных инфракрасных систем уделяется большое внимание.

Необходимость реализации в инфракрасной системе каналов 3–5 мкм (MWIR) и 8–12 мкм (LWIR) во многом обусловлена наличием известных окон пропускания атмосферы. В частности, при работе системы в зимних условиях в средней полосе России в MWIR-диапазоне резко падает контраст лучистости и существенно ухудшаются ТТХ системы по сравнению с LWIR-диапазоном, а в теплых широтах при высокой влажности в LWIR-диапазоне характеристики ухудшаются из-за высокого атмосферного поглощения на парах воды.

Наиболее эффективным способом построения таких систем является использование в них двухдиапазонного матричного фотоприемного устройства (МФПУ). Это позволяет минимизировать массогабаритные характеристики системы, повысить эксплуатационные характеристики и исклю-

чить проблему сведения каналов. Построение таких систем невозможно без двух основных узлов, а именно, двухдиапазонных оптических трактов и МФПУ. Состояние разработок двухдиапазонных МФПУ и объективов в настоящее время в отечественной промышленности находится на начальном этапе.

За рубежом выпуском двухдиапазонных объективов занимаются ряд компаний среди которых следует отметить Janos technology Inc. и IR-Cam GmbH. Ими созданы линейки специализированных двухдиапазонных объективов (3,5–10,5 мкм) с различными фокусными расстояниями для работы с охлаждаемыми МФПУ. Сводные характеристики объективов приведены в табл. 1.

Таблица 1

### Основные характеристики зарубежных широкодиапазонных объективов

Наименование	Характеристика
Фокусное расстояние, мм	25 – 100
Относительное отверстие	1:2 – 1:2,3
Диагональ МФПУ, мм	14
Шаг МФПУ, мкм	15 – 30
Коэффициент пропускания, %	~

Целью данной работы являлось теоретическое и экспериментальное исследование возможности разработки и создания отечественного двухдиапазонного инфракрасного объектива, обладающего дифракционным качеством изображения и высоким пропусканием без дополнительного просветления своих компонентов.

### Результаты исследований

В ОАО «НПО «Орион» проблемой создания двухдиапазонных объективов занимаются свыше 20 лет. Этапы расчетных исследований проводи-

Горелик Леонид Иосифович, гл. специалист.  
 Полесский Алексей Викторович, нач. отдела.  
 Семенченко Наталья Александровна, техник.  
 Хамидуллин Камиль Алиевич, инженер.  
 Юдовская Александра Дмитриевна, инженер.  
 ОАО «НПО «Орион».  
 Россия, 111123, Москва, шоссе Энтузиастов, 46/2  
 E-mail: orion@orion-ir.ru

Статья поступила в редакцию 20 января 2013 г.

© Горелик Л.И., Полесский А.В., Семенченко Н.А., Хамидуллин К.А., Юдовская А.Д., 2013

Таблица 2

## Характеристики двухдиапазонных объективов

№	$f'$ , мм	$D/f'$	Концентрация энергии в площадке 30x30 мкм в диапазоне*		2w
			3–5 мкм	8–12 мкм	
1	20	1:1,7	0.91/0.83	0.69/0.74	38
2	30	1:1,75	0.87/0.79	0.74/0.70	25
3	50	1:1,75	0.89/0.83	0.77/0.74	14
4	75	1:1,75	0.90/0.87	0.69/0.75	10
5	100	1:1,75	0.90/0.83	0.75/0.79	8

\* данные приведены для единой плоскости установки для обоих диапазонов

лись исходя из задачи создания двухдиапазонного линзового объектива дифракционного качества из материалов с хорошо отработанной технологией обработки. К таким материалам можно отнести широко известные Ge-, GaAs-, ZnS-, ZnSe-, BaF<sub>2</sub>- и As-стекла. Кроме того, с целью повышения технологичности и себестоимости рассматривались решения только со сферическими поверхностями. Учитывая то, что для большинства промышленных применений целесообразно использовать широкопольные каналы, были рассмотрены линзовые схемы. Преимуществом таких систем является то, что в отличие от зеркальных и зеркально-линзовых схем, они позволяют обеспечивать практически любые поля зрения.

В результате проведенных исследования получены отработанные схемные решения объективов с фокусным расстоянием от 20 до 100 мм с относительным отверстием до 1:1,7, предназначенных для работы совместно с охлаждаемыми двухдиапазонными МФПУ с диагональю до 14 мм. Расчетные характеристики разработанных в ФГУП «НПО «Орион» схем приведено в табл. 2.

Полученное высокое качество изображения при малом количестве сферических компонентов (до 4) достигалось применением различных

комбинаций материалов с достаточно высоким показателем преломления  $n > 2$ . По этой причине практическая реализация таких высококачественных объективов может быть осуществлена только при наличии отработанного высокопрочного (0 группа прочности) двухдиапазонного просветляющего покрытия. К сожалению, отечественные покрытия такого класса отсутствуют, и поэтому было принято решение по созданию широкодиапазонного объектива без использования просветляющих покрытий.

Расчет такого объектива выполнялся исходя из следующих основных требований:

- спектральный диапазон 3,5–10,5 мкм;
- объектив должен входить в состав прибора «средней дальности» с угловым размером элемента порядка 0,5 мрад;
- в приборе используется МФПУ формата 320x256 и шагом 30 мкм;
- оптическая схема объектива должна учитывать расположение холодной диафрагмы МФПУ;
- количество оптических компонентов не более четырех;
- относительное отверстие 1:2.5.
- объектив должен обеспечивать достаточ-

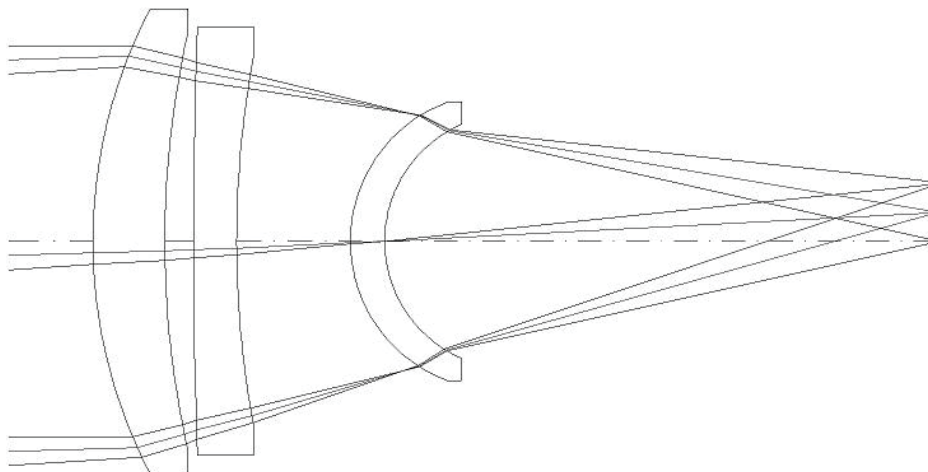


Рис. 1. Структура двухдиапазонного объектива.

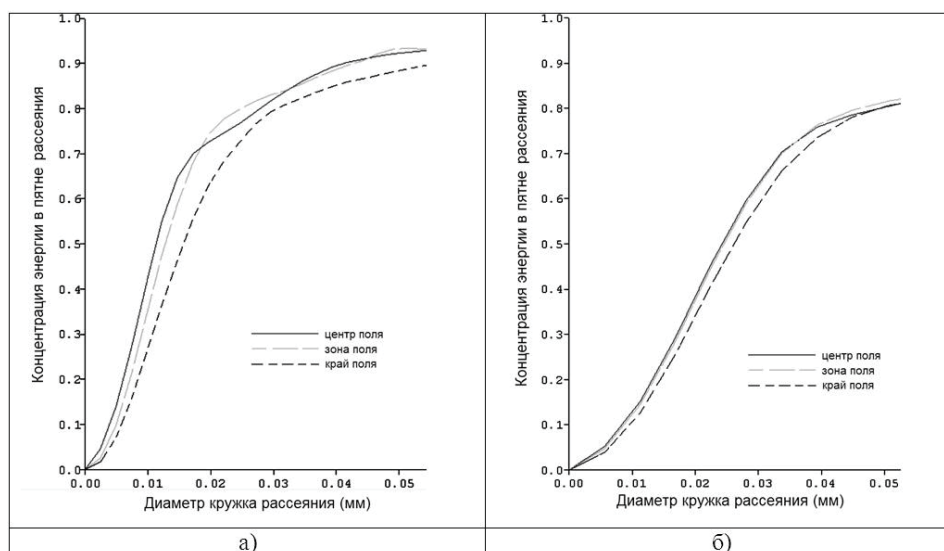


Рис. 2. Концентрация энергии в пятне двухдиапазонного объектива в диапазонах:  
а) 3,5–5 мкм, б) 8–10,5 мкм

ное пропускание без просветления оптических компонентов;

– в объективе должны быть использованы технологически хорошо отработанные материалы со сферическими поверхностями.

В результате была разработана оптическая схема (рис. 1), обеспечивающая характеристики, приведенные в табл. 3. Выходной зрачок находится на последней поверхности. Спектральный диапазон был выбран из анализа характеристик спектральной чувствительности разработанных в настоящее время двухдиапазонных зарубежных МФПУ на основе  $Cd_xHg_{1-x}Te$  и QWIP.

Таблица 3

**Характеристики  
разработанной оптической системы**

Наименование	Характеристика
Спектральный диапазон, мкм	3,5–10,5
Фокусное расстояние, мм	62
Относительное отверстие	1:2.5
Спектральный диапазон работы, мкм	3,5–10,5
Поле зрения ( $2\omega$ , град)	11
Рабочий отрезок, мм	41

Благодаря применяемым материалам разработанный двухдиапазонный объектив обеспечивает пропускание в рабочем спектральном диапазоне ~ 68 % без применения просветляющих покрытий и прозрачен в видимом диапазоне, что существенно облегчает операции юстировки.

Объектив предполагается к применению в системах, реализуемых на основе существующих зарубежных и перспективных отечественных двухдиапазонных матриц формата до 320x256 с шагом 30 мкм.

Расчетное качество изображения разработанного объектива составляет 80 % энергии в пло-

щадке 35x35 мкм для диапазона 3–5 мкм, и не менее 75 % для диапазона 8–10,5 мкм в площадке 40x40 мкм. Концентрация энергии в пятне приведена на рис. 2.

На рис. 3 приведен внешний вид разработанного широкодиапазонного объектива.

Измеренные после сборки в диапазонах 3–5 и 8–12 мкм пятна рассеяния составляли следующие величины: в диапазоне 8–12 мкм – не более 64 мкм (измерения проводились на установке Ю-183 на длине волны 10,6 мкм), а в 3,5–5 мкм – 45 мкм. Измерения полихроматического пятна проводились на установке, разработанной в ОАО «НПО «Орион» на основе АЧТ типа К122.410 и оптической скамьи ОСК-2, причем для коррекции спектрального диапазона использовался специальный полосовой фильтр.

### Заключение

В ОАО «НПО «Орион» применительно к разработке широкодиапазонных оптических трактов были проведены расчетные исследования по созданию объективов дифракционного качества, по



Рис. 3. Внешний вид двухдиапазонного объектива

результатам которых был разработан ряд светосильных двухдиапазонных линзовых объективов с количеством сферических компонентов не более четырех. В частности, разработан, изготовлен и измерен двухдиапазонный объектив, пригодный для использования в двухдиапазонной тепловизионной и тепlopеленгационной аппаратуре, а также при разработке стендового оборудования для наладки и измерения характеристик перспективных двухдиапазонных МФПУ. По своим основным характеристикам объектив близок к

современным зарубежным аналогам и при этом является технологичным за счет отказа от асферических поверхностей и просветления.

#### Литература

1. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. - М.: «МИР», 1988.
2. Ллойд Дж. Системы тепловидения. - М.: «МИР», 1978.
3. Хадсон Р. Инфракрасные системы. - М.: «МИР», 1972.

## Dual-band infrared lens

*L.I. Gorelik, A.V. Polesskiy, N.A. Semenchenko, K.A. Khamidullin, and A.D. Yudovskaya*

Orion Research-and-Production Association  
46/2 Enthusiasts highway, Moscow, 111123, Russia  
E-mail: orion@orion-ir.ru

***Results of development the dual-band infra-red lens based on three spherical components are given. The lens provides diffraction image quality and high transmittance without AR coatings of lens's components. Also the results of researches into the process of constructing the number of high image quality dual-band lenses are given.***

*PACS: 42.30.Va*

*Keywords: dual-band lens, infra-red equipment, MWIR, LWIR..*

*Bibliography – 3 references*

*Received January 20, 2013*