

## СВЕТОСИЛЬНЫЙ ОБЪЕКТИВ С ДИСКРЕТНЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ УВЕЛИЧЕНИЯ ДЛЯ ТЕПЛОВИЗОРОВ

© 2016 г. С. Н. Редькин, канд. техн. наук

Государственный институт прикладной оптики, г. Казань, Россия

E-mail: gipo@telebit.ru

В статье рассмотрена оптическая схема объектива с относительным отверстием 1:1 и двумя полями зрения на основе шестилинзовой компоновки, не содержащей асферических линз. Область применения – тепловизоры на основе микроболометрических матричных фотоприёмных устройств. Приведены конструктивные параметры оптической схемы и расчётные характеристики качества оптического изображения.

**Ключевые слова:** объектив, поле зрения, относительное отверстие, функция передачи модуляции, турельный механизм.

Коды OCIS: 230.0230.

Поступила в редакцию 29.10.2015.

Появление микроболометрических матричных фотоприёмных устройств (ММФПУ) стимулировало применение тепловизионной техники не только в системах вооружения, но и в качестве информационно-измерительных систем гражданского применения, например, при обеспечении навигации речных и морских судов в ночное время суток, при дистанционном измерении радиационной температуры фрагментов промышленных объектов.

Себестоимость тепловизора, в том числе и на базе ММФПУ, в значительной степени определяется затратами на изготовление объектива. Для её уменьшения целесообразно уменьшить количество сложных оптических деталей, например, асферических линз. Отказ от их применения приводит к ухудшению светопропускания из-за увеличения количества линз, однако во многих случаях, когда не требуется достижение предельных характеристик, этот шаг может быть оправданным. Простота конструкции объектива расширяет и круг возможных его производителей, не обладающих технологическими возможностями, в частности, для изготовления и контроля качества асферических поверхностей линз.

Уменьшение примерно на порядок удельной обнаружительной способности ММФПУ по сравнению с охлаждаемыми матричными фотоприёмными устройствами приводит к необходимости обеспечения высокой светосилы

объектива с относительным отверстием не менее чем 1:1 и выше, что значительно усложняет коррекцию aberrаций широких наклонных пучков.

В данной статье показана оптическая схема сравнительно простого светосильного объектива для тепловизоров на основе ММФПУ с двумя полями зрения без применения асферических линз на базе шестилинзовой компоновки.

Известны оптические схемы светосильных инфракрасных (ИК) объективов с двумя полями зрения [1]. Переход из узкого поля зрения (УПЗ) в широкое поле зрения (ШПЗ) с дискретным изменением фокусного расстояния, как правило, обеспечивается за счет осевой подвижки одной из линз с отрицательной оптической силой из одного положения в другое. В зависимости от габаритов объектива величина осевой подвижки при этом может достигать нескольких десятков миллиметров. Требуется высокоточное осевое позиционирование подвижной линзы.

При разработке оптической схемы объектива для смены полей зрения применён разворот второй по ходу лучей линзы вокруг точки  $O$  на  $180^\circ$ . Линза из положения 2 переходит в положение 2' (рис. 1). Разворот линзы обеспечивается одноканальным турельным механизмом при его вращении вокруг оси, перпендикулярной оптической оси объектива. Конструктивные параметры турельного механизма обеспечивают

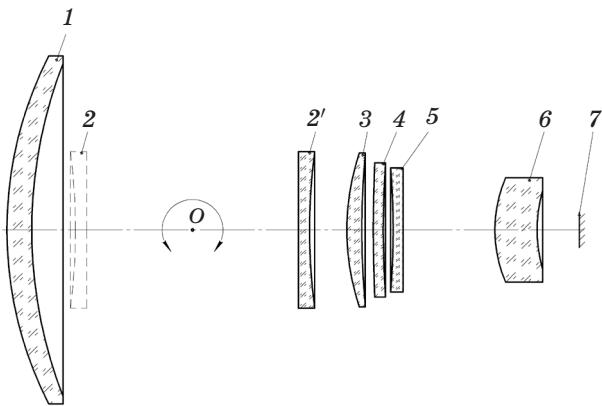


Рис. 1. Смена полей зрения объектива. 1 – входная линза; 2 – подвижная линза в конфигурации узкого поля зрения; 2' – подвижная линза в конфигурации широкого поля зрения; 3 – третья линза; 4 – четвёртая линза; 5 – пятая линза; 6 – шестая линза; 7 – плоскость чувствительных элементов.

достаточную точность осевого позиционирования подвижной линзы. В крайних положениях турельный механизм может быть также виброустойчиво зафиксирован, например, с помощью упоров.

В работе [2] изложен принцип применения двухканального турельного механизма при обеспечении трех полей зрения в объективах. Однако его применение для обеспечения двух полей зрения нецелесообразно из-за большей сложности.

Исследования, основанные на просчёте через оптическую систему реальных лучей, показали преимущество разворота линзы на  $180^\circ$  по сравнению с вариантом осевой подвижки из одного положения в другое по такому важнейшему параметру, как светосила при прочих равных условиях, при её вторичном вхождении в световой пучок.

В результате проведенного аберрационного расчета оптической схемы были обеспечены следующие параметры (табл. 1).

Конструктивные параметры оптической схемы объектива в конфигурациях УПЗ и ШПЗ приведены в табл. 2.

Положение входного зрачка в УПЗ – 275 мм, положение входного зрачка в ШПЗ – 96 мм.

Задний рабочий отрезок объектива равен 17 мм, апертурная диафрагма оптической системы расположена на третьей оправе по ходу лучей линзы.

Оптическая схема объектива и ход лучей в УПЗ приведены на рис. 2.

Таблица 1. Основные характеристики оптической схемы объектива

Параметр	Значение
Диаметр входного зрачка в УПЗ, мм	100
Диаметр входного зрачка в ШПЗ, мм	33,3
Поле зрения в УПЗ, град	$6,2 \times 4,7$
Поле зрения в ШПЗ, град	$18,7 \times 14,1$
Относительное отверстие в УПЗ и ШПЗ	1:1
Изменение фокусного расстояния, крат	3
Спектральная область ахроматизации, мкм	8–13
Длина оптической схемы, мм	230

Таблица 2. Конструктивные параметры оптической схемы объектива

УПЗ	ШПЗ	d, мм		Св. диаметр, мм	Материал
		УПЗ	ШПЗ		
152,41	152,41	10	10	140	Ge
181,97	181,97	107,2	17,6	134	Воздух
$\infty$	-243,2	4,5	4,5	63	Ge
243,2	$\infty$	15	104,6	63	Воздух
97,95	97,95	6	6	62	Ge
320,6	320,6	4,6	4,6	60	Воздух
487,5	487,5	4	4	57	ZnSe
319,9	319,9	4	4	52	Воздух
-301,3	-301,3	4	4	50	Ge
$\infty$	$\infty$	36,9	36,9	50	Воздух
52,64	52,64	17	17	42	Ge
52,81	52,81			32	

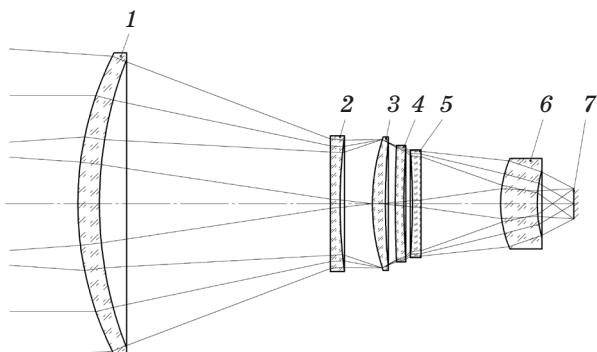
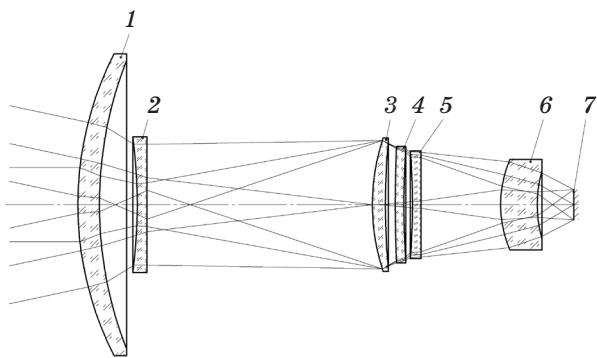


Рис. 2. Оптическая схема объектива и ход лучей в конфигурации узкого поля зрения. 1 – входная линза; 2 – подвижная линза; 3 – третья линза; 4 – четвёртая линза; 5 – пятая линза; 6 – шестая линза; 7 – плоскость чувствительных элементов.



**Рис. 3.** Оптическая схема объектива и ход лучей в конфигурации широкого поля зрения. 1 – входная линза; 2 – подвижная линза; 3 – третья линза; 4 – четвёртая линза; 5 – пятая линза; 6 – шестая линза; 7 – плоскость чувствительных элементов.

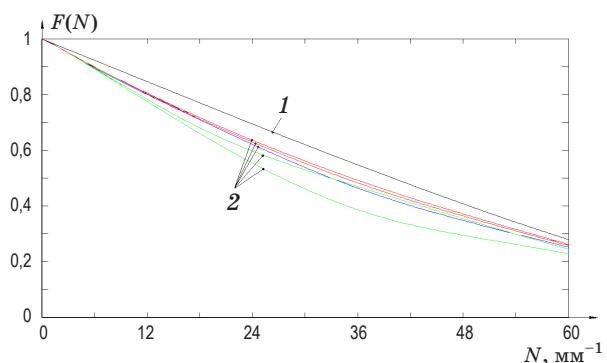
Оптическая схема объектива и ход лучей в ШПЗ приведены на рис. 3.

Важной характеристикой качества изображения любой оптической системы наряду с числом Штреля является функция передачи модуляции (ФПМ) или частотно-контрастная характеристика (ЧКХ).

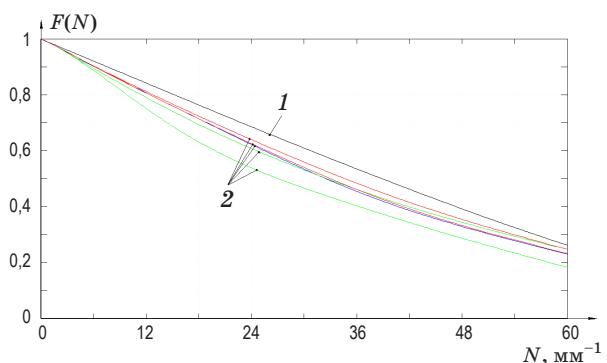
Расчётная полихроматическая ФПМ объектива в конфигурации УПЗ приведена на рис. 4, в конфигурации ШПЗ – на рис. 5, где  $N$  – пространственная частота,  $F(N)$  – ФПМ.

Число Штреля для точки на оси УПЗ – 0,9, ШПЗ – 0,9; для крайней внеосевой точки УПЗ – 0,75, ШПЗ – 0,72.

В заключение отметим, что в процессе разворота одноканального турельного механизма на  $90^\circ$  при выводе из светового пучка второй по ходу лучей подвижной линзы возможна калибровка ММФПУ по расфокусированному изображению с целью устранения геометрического шума на изображении из-за разброса фотоэлектрических параметров его отдельных фотодетекторов. Возможность ручного переключения полей зрения объектива упрощает конструкцию тепловизора, что важно для создания портативного прибора с питанием от аккумулятор-



**Рис. 4.** Полихроматическая функция передачи модуляции в конфигурации узкого поля зрения. 1 – дифракционная функция передачи модуляции; 2 – расчетные функции передачи модуляции в пределах поля зрения.



**Рис. 5.** Полихроматическая функция передачи модуляции в конфигурации широкого поля зрения. 1 – дифракционная функция передачи модуляции; 2 – расчетные функции передачи модуляции в пределах поля зрения.

ных батарей. Изменение полей зрения может быть осуществлено, например, за счет вращения предусмотренного в конструкции тепловизора механизма переключателя.

Термостабилизация положения фокальной плоскости и фокусировка объектива на конечное расстояние могут быть обеспечены с помощью короткой совместной осевой подвижки последних по ходу лучей четырех линз, которая также может быть выполнена вручную.

\* \* \* \* \*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Олейник С.В. Линзовый объектив с изменяемым фокусным расстоянием для работы в ИК области спектра // Патент России № 2316797. 2008.
2. Редькин С.Н., Шушарин С.Н., Батавин М.Н., Терехов А.Я., Савин Д.Е., Иванов В.П., Балоев В.А. Панкрагическая оптическая система с дискретным изменением поля зрения // Патент РФ № 149577. 2015.