

СВЕТОСИЛЬНЫЕ ОБЪЕКТИВЫ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

© 2010 Е.О. Ульянова

Новосибирский филиал Института физики полупроводников СО РАН
«Конструкторско-технологический институт прикладной микроэлектроники»

Поступила в редакцию 18.11.2010

В статье представлены оптические системы светосильных объективов для беспилотных летательных аппаратов. Приводятся основные параметры и характеристики объективов, разработанных в Филиале ИФП СО РАН «КТИПМ», а также оптические схемы и оценка качества изображения.

Ключевые слова: *оптическая система, объектив, беспилотный летательный аппарат*

В настоящее время проявляется повышенный интерес к беспилотным летательным аппаратам (БЛА), что объясняется успешным опытом их применения в России и за рубежом (например, в Ираке и Афганистане), а также сообщениями об интенсификации работ над новыми, в том числе боевыми, беспилотниками за рубежом. Использование БЛА играет огромную роль в разведке, боевом применении, а также в воздушном мониторинге окружающей среды, технологических комплексов и средств коммуникации. Тепловизионные модули для БЛА используются для обнаружения замаскированных объектов, проведения всепогодной воздушной разведки и наблюдения за объектами в сложных метеоусловиях, когда аппаратура, работающая в видимой области спектра, недостаточно эффективна (ночь, туман).

При разработке оптических систем для малогабаритных БЛА огромное значение приобретают массогабаритные характеристики, при этом оптические системы должны обеспечивать высокое качество изображения. Поэтому одной из основных задач, решаемых в процессе разработки оптических систем объективов для БЛА, является задача получения необходимых рабочих характеристик при минимальных массогабаритных параметрах.

В Новосибирском филиале ИФП СО РАН «КТИПМ» разработаны и изготовлены светосильные объективы для использования в составе малоразмерных БЛА. Оптические системы объективов формируют изображение в плоскости матричного фотоприемного устройства (МФПУ). В качестве фотоприёмного устройства применена неохлаждаемая болометрическая матрица, имеющая размер

фоточувствительного поля $5,6 \times 4,2$ мм (160×120 элементов) и шаг между элементами 35 мкм. Оптические схемы светосильных объективов представлены на рис. 1.

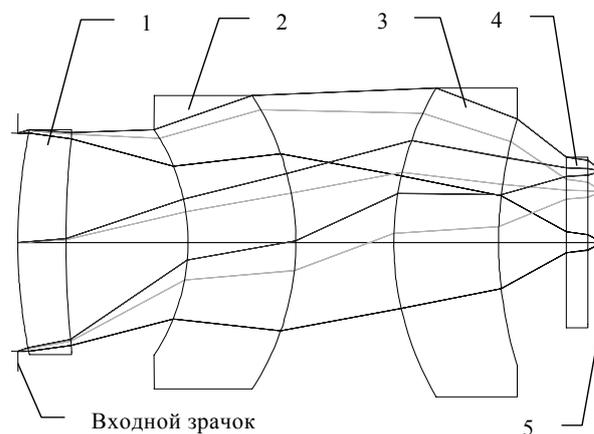
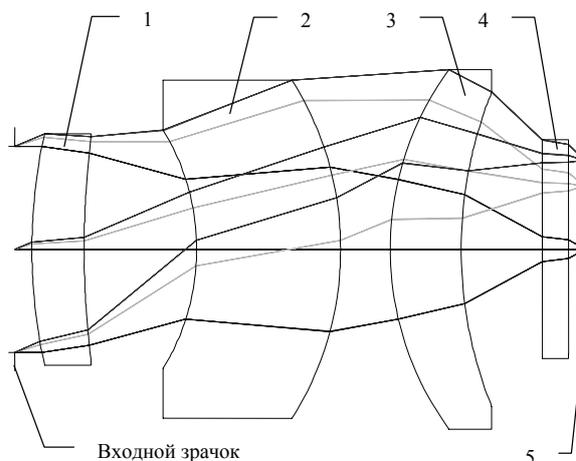
а) объектив с полем зрения $30^\circ \times 22,72^\circ$ б) объектив с полем зрения $40^\circ \times 30^\circ$

Рис. 1. Оптические схемы светосильных объективов для БЛА:

1-3 – объектив; 4 – входное окно МФПУ; 5 – плоскость фоточувствительных элементов матричного ФПУ

Оптические схемы объективов включают три линзовых компонента, представляющих собой мениски, выполненные из германия и селенида цинка. Все линзовые компоненты

объективов имеют сферические поверхности. В таблице 1 приведены основные характеристики разработанных объективов.

Таблица 1. Оптотехнические и габаритные характеристики объективов

фокусное расстояние, мм	10,4	8,2
относительное отверстие	1:1	1:1
угловое поле зрения ($2\omega'$), градусов	$30^\circ \times 22,72^\circ$	$40^\circ \times 30^\circ$
спектральный диапазон работы, мкм	8-12	8-12
длина, мм	27	22
масса, г	10	7

Качество изображения разработанных светосильных объективов оценивается с помощью параметров кружка рассеяния, модуляционной передаточной функции и функции концентрации энергии. Параметры модуляционной передаточной функции, параметры

кружка рассеяния и функции концентрации энергии представленных систем в сравнении с дифракционно-ограниченной системой приведены в таблицах 2 и 3, а также показаны на рис. 2-7.

Таблица 2. Модуляционная передаточная функция объектива с полем зрения $30 \times 22,72$

Пространств. частота ν , мм ⁻¹	Точка на оси ($\omega'=0^\circ$)	Точка в зоне ($\omega'=10,60^\circ \times 8,0^\circ$)	Точка на краю ($\omega'=15^\circ \times 11,36^\circ$)	Дифракционно-ограниченная система
10	0,86	0,85	0,82	0,87
20	0,72	0,68	0,61	0,74
30	0,58	0,51	0,40	0,62
40	0,46	0,36	0,24	0,49
50	0,35	0,24	0,14	0,38

Таблица 3. Модуляционная передаточная функция объектива с полем зрения $40^\circ \times 30^\circ$

Пространств. частота ν , мм ⁻¹	Точка на оси ($\omega'=0^\circ$)	Точка в зоне ($\omega'=14,14^\circ \times 10,6^\circ$)	Точка на краю ($\omega'=20^\circ \times 15^\circ$)	Дифракционно-ограниченная система
10	0,86	0,82	0,78	0,86
20	0,71	0,62	0,52	0,73
30	0,57	0,43	0,30	0,60
40	0,45	0,27	0,16	0,47
50	0,33	0,16	0,09	0,35

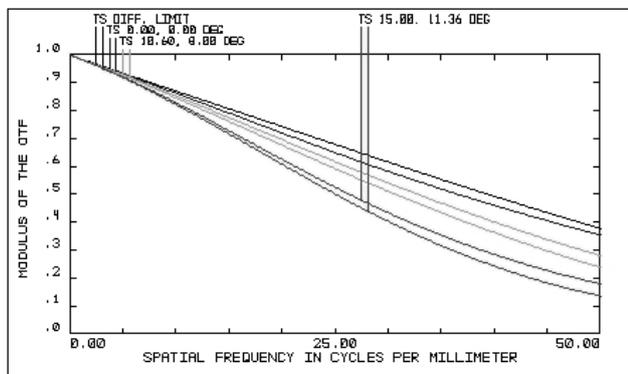


Рис. 2. Частотно-контрастная характеристика объектива с полем зрения $30^\circ \times 22,72^\circ$

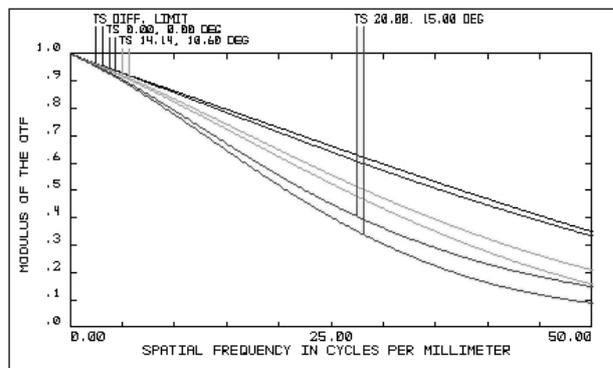


Рис. 3. Частотно-контрастная характеристика объектива с полем зрения $40^\circ \times 30^\circ$

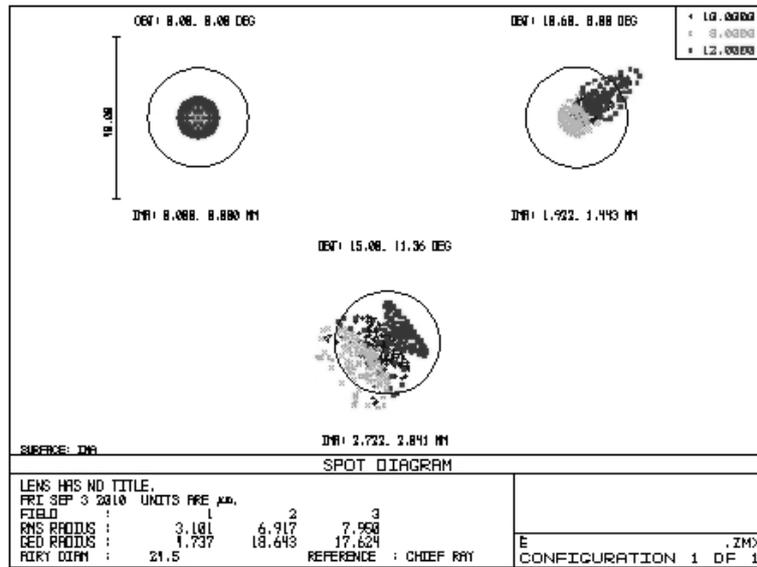


Рис. 4. Пятно рассеяния точки объектива с полем зрения $30^\circ \times 22,72^\circ$

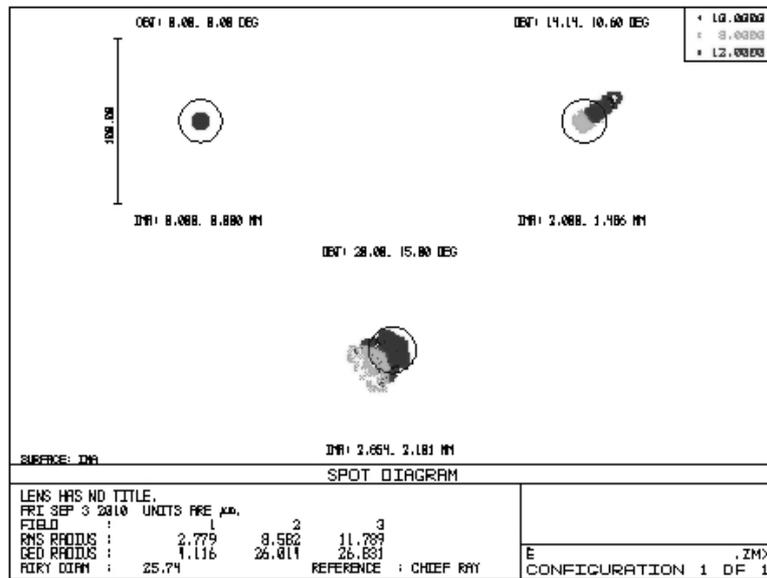


Рис. 5. Пятно рассеяния точки объектива с полем зрения $40^\circ \times 30^\circ$

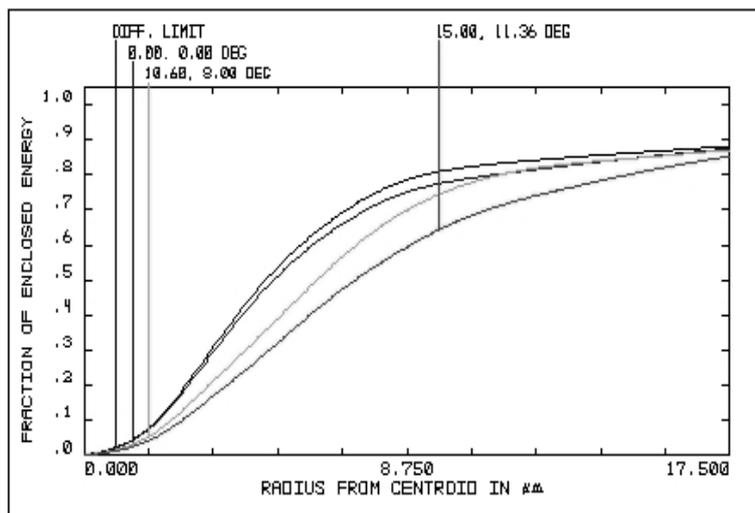


Рис. 6. Функция концентрации энергии объектива с полем зрения $30^\circ \times 22,72^\circ$

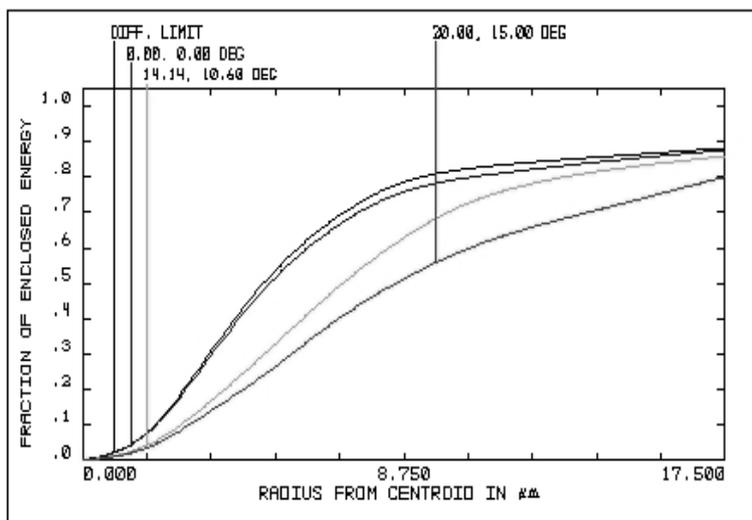


Рис. 7. Функция концентрации энергии объектива с полем зрения $40^\circ \times 30^\circ$

Из приведенных выше оценочных данных качества разработанных светосильных объективов видно, что они обладают хорошим качеством изображения. На рис. 2-3 приведены ЧКХ объективов с полями зрения $30^\circ \times 22,72^\circ$ и $40^\circ \times 30^\circ$. По оси ординат указаны коэффициенты передачи контраста в относительных единицах, по оси абсцисс – пространственные частоты в диапазоне от 0 до 50 мм^{-1} , отнесенные к плоскости изображения оптической системы. Верхние кривые на графиках, приведенных на рис. 2-3, соответствуют дифракционным ЧКХ (обозначение «Diff. limit»), а остальные кривые – для различных углов полей зрения ω' (0×0 ; $10,60 \times 8,0$ и $15 \times 11,36$ град – для объектива с полем зрения $30 \times 22,72$ и 0×0 ; $14,14 \times 10,60$ и 20×15 град – для объектива с полем зрения $40^\circ \times 30^\circ$) для меридионального (обозначение «Т») и сагиттального сечений (обозначение «S»). Из приведенных графиков следует, что для пространственной частоты 30 мм^{-1} коэффициенты передачи контраста для объективов с полями зрения $30^\circ \times 22,72^\circ$ и $40^\circ \times 30^\circ$ соответственно не падают ниже 0,40 (рис. 2), и 0,30 (рис. 3), что подтверждает хорошее качество изображения, даваемое представленными объективами.

Геометрический радиус кружка рассеяния точки не превышает величину 4,8 мкм в центре поля зрения и 18 мкм на краю поля зрения для объектива с полем зрения $30^\circ \times 22,72^\circ$ (рис. 4), а для объектива с полем зрения $40^\circ \times 30^\circ$ – не превышает значений 4,2 мкм и 27 мкм соответственно (рис. 5). На рис. 6-7 приведены ФКЭ объективов с полями зрения $30^\circ \times 22,72^\circ$ и $40^\circ \times 30^\circ$. По оси ординат указаны значения ФКЭ в относительных единицах, по

оси абсцисс – значения радиуса пятна рассеяния, для которого рассчитаны ФКЭ. Верхние кривые на графиках, приведенных на рис. 6-7, соответствуют дифракционным ФКЭ, остальные кривые – для различных углов полей зрения. Так, для объектива с полем зрения $30^\circ \times 22,72^\circ$ значения ФКЭ в пятне радиусом 0,0175 мм для углов полей зрения ω' , равными 0×0 ; $10,60 \times 8,0$ и $15 \times 11,36$ град, составляют соответственно 0,87; 0,87 и 0,85, т.е. близки к соответствующему значению ФКЭ в безабберационной системе, равному 0,88. Для объектива с полем зрения $40^\circ \times 30^\circ$ значения ФКЭ в пятне радиусом 0,0175 мм для углов полей зрения ω' , равными 0×0 ; $14,14 \times 10,60$ и 20×15 град, составляют соответственно 0,88; 0,86 и 0,80, т.е. также имеют близкие величины к соответствующему значению ФКЭ в безабберационной системе, равному 0,88, что также подтверждает хорошее качество изображения, даваемое светосильными объективами, приемлемое для работы с современными матричными инфракрасными приемниками излучения.

Выводы: современный уровень развития беспилотных систем требует создания высококачественных миниатюрных оптико-электронных компонентов. Разработанные светосильные объективы в полной мере отвечают поставленным требованиям, т.к. обладают минимальными массогабаритными характеристиками, а также имеют разрешающую способность, позволяющую использовать их в составе малоразмерных беспилотных летательных аппаратов для обеспечения воздушной всепогодной разведки и наблюдения за объектами в сложных метеоусловиях, а также для обнаружения замаскированных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Шатунов, К.П.* Комплекс модулей для обеспечения воздушной всепогодной разведки в широком спектральном диапазоне / *К.П. Шатунов, П.И. Шапор, С.М. Чурилов* и др. // Изв. вузов. Приборостроение. 2004. Т. 47, № 9. С. 57-61.

FAST LENSES FOR PILOTLESS FLYING DEVICES

© 2010 E.O. Ulyanova

Novosibirsk Branch of Physics Semiconductors Institute SB RAS
"Design-technological Institute of Applied Microelectronics"

In paper optical systems of fast lenses for pilotless flying devices are presented. Main parameters and characteristics of lenses developed in Branch of FSI SB RAS "DTIAM", and also optical schemes and an estimation of image quality are brought.

Key words: *optical system, lense, pilotless flying device*