

УДК 681.7

Анализ возможностей использования отечественных фотообъективов для спектрального диапазона 0,9—1,7 мкм

Л. И. Горелик, М. Г. Мазин

Исследованы возможности применения отечественных серийных фотографических объективов для формирования изображения в оптико-электронных приборах в спектральном диапазоне 0,9—1,7 мкм. Проведены расчетные исследования объективов в монохроматическом режиме на длинах волн 0,63; 0,9; 1,06 и 1,54 мкм, что позволяет оценить возможность их применения в активных и пассивных системах, работающих в спектральных диапазонах 0,9—1,7 и 1,28—1,6 мкм.

PACS: 85.60.-q

Ключевые слова: фотообъектив, спектральный диапазон, система, длина волны.

Введение

В настоящее время отечественная оптико-механическая промышленность не выпускает объективов, которые предназначены для использования в приборах на основе матриц InGaAs/InP (A_3B_5), формирующих изображение в спектральном диапазоне 0,9—1,7 мкм. Создание отечественных оптических трактов, формирующих качественное изображение в этом спектральном диапазоне, находится на стадии начальных проработок. За рубежом уже существует большое количество предложений по объективам для этого диапазона, но они достаточно дороги. Уровень разработанных в ФГУП «НПО "Орион"» матричных фотоприемных устройств (МФПУ) на основе A_3B_5 позволяет приступить к макетированию оптико-электронных систем (ОЭС) различного назначения. В связи с этим становится актуальной задача создания отечественных оптических трактов для этого диапазона [1—8].

В России уже свыше 100 лет выпускается серийная фотографическая оптика для видимого диапазона спектра, и существует огромная номенклатура оптических схем, конструктивных решений, оправ, диафрагм и т. д. Учитывая высокую серийность фотографического производства, стоимость таких объективов крайне невысока. В связи с вышеизложенным существенный практический интерес представляет решение задачи определения области применения широко известной серийной оптики в существующих разработках (на этапе

макетирования) перспективных отечественных оптико-электронных приборов (ОЭП), работающих в спектральном диапазоне 0,9—1,7 мкм.

Объекты исследования

В качестве исходных данных при проведении исследований по применению отечественной оптики были использованы основные характеристики МФПУ, разработанного в ФГУП «НПО "Орион"» и имеющего формат 320×256 с шагом 30 мкм. Конструкция фотоприемника позволяет применять оптические тракты с рабочим отрезком не менее 8 мм.

В данной работе были проведены исследования по возможности применения отечественных серийных фотографических объективов для задач спектрального диапазона 0,9—1,7 мкм. Было проанализировано свыше 50 классических оптических схем. Исходные данные для анализа и расчетов были взяты из каталогов программы OPAL Красноярского оптико-механического завода и др. Критерием применения объективов являлось процентное содержание энергии в квадратной площадке 30×30 мкм. Варьируемым параметром для проведения расчетов было относительное отверстие конкретного объектива. Расчеты проводились с использованием программ OPAL и Zemax.

Расчетные исследования

Расчетные исследования проводились с учетом специфики применения различных ОЭС: активных систем, работающих на прием излучения лазеров с длиной волны 0,63; 0,9; 1,06 и 1,54 мкм, а также для пассивных систем, работающих в спектральных диапазонах 0,9—1,7 и 1,28—1,6 мкм. На рис. 1—5, 7 и 8 приведены результаты расчетов качества изображения ряда серийных отечественных фотографических объективов для перечисленных выше спектральных диапазонов. Кривые представлены

Горелик Леонид Иосифович, главный специалист.

Мазин Михаил Георгиевич, инженер.

ФГУП «НПО "Орион"».

Россия, 111123, Москва, шоссе Энтузиастов, 46/2.

Тел. (499) 373-55-70. E-mail: orion@orion-ir.ru

Статья поступила в редакцию 16 августа 2011 г.

© Горелик Л. И., Мазин М. Г., 2012

для края и центра поля изображения при различных относительных отверстиях. Работа объективов при относительном отверстии 1:7 и ниже не рассматривалась, поскольку они не обеспечивают необходимую освещенность в плоскости фоточувствительной матрицы.

Очевидно, что качество изображения объективов при переходе в другой спектральный диапазон должно ухудшаться (в основном за счет хроматических aberrаций). Практический интерес представляют расчетные исследования качества изображения, получаемого на конкретных оптических схемах для других названных выше длин волн, существенно отличающихся от тех, для которых были оптимизированы исследуемые схемы. На примере объектива "Индустар 21" (рис. 1) видно ухудшение качества изображения в 1,5 раза при работе в диапазоне 0,9—1,7 мкм. Аналогичные результаты были получены для большинства исследованных объективов. По этой причине применение большинства объективов с качеством изображения хуже 40 лин/мм становится проблематичным для использования при работе с матрицами с шагом менее 30 мкм в спектральном диапазоне 0,9—1,7 мкм.

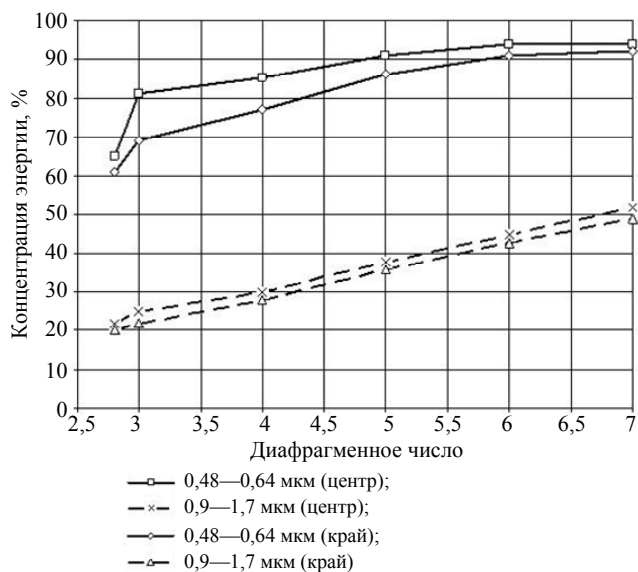


Рис. 1. Качество объектива "Индустар 21" в видимом диапазоне спектра и в диапазоне 0,9—1,7 мкм

Существует ряд задач, в которых ОЭС работает в более узком спектральном диапазоне, а именно 1,28—1,6 мкм. В виде примера на рис. 2 приведены результаты расчета объективов "Гелиос 23" и "Мир 3". Качество изображения в диапазоне 1,28—1,6 мкм объектива "Мир 3" ухудшается в 1,5 раза для полностью открытой диафрагмы (относительное отверстие 1:3,5), что позволяет использовать его только при низких относительных отверстиях. Объектив "Гелиос 23" в этом диапазоне

сохраняет достаточно высокие характеристики: уже при относительном отверстии 1:3 концентрация энергии в площадке 30×30 мкм составляет 80 %, что допускает его использование при высоких значениях относительного отверстия.

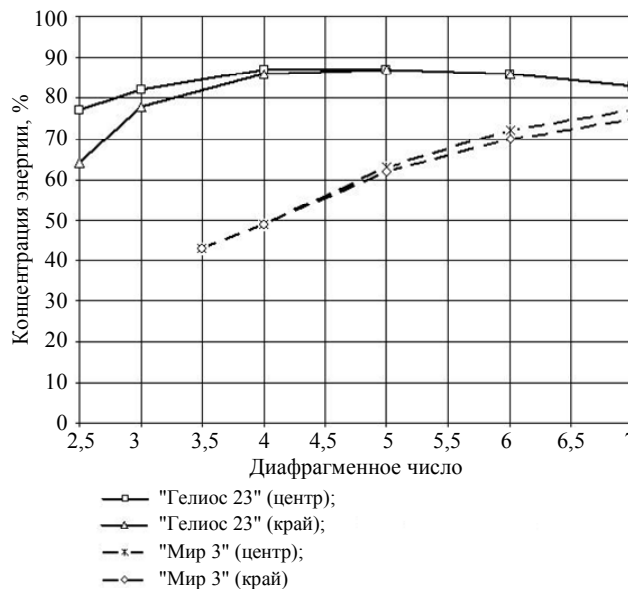


Рис. 2. Качество объективов "Гелиос 23" и "Мир 3" в диапазоне 1,28—1,6 мкм

Очевидно, что в случае применения объективов в системах, работающих на прием монохроматического излучения, влияние хроматических aberrаций на одной длине волны не существенно. В этом случае, как было отмечено выше, актуальны задачи исследования применения объективов в системах с лазерной подсветкой. В качестве примера приведены результаты расчетов объектива "Гелиос 97" для лазеров, работающих на следующих длинах волн: 0,9, 1,06 и 1,54 мкм (рис. 3 и 4).

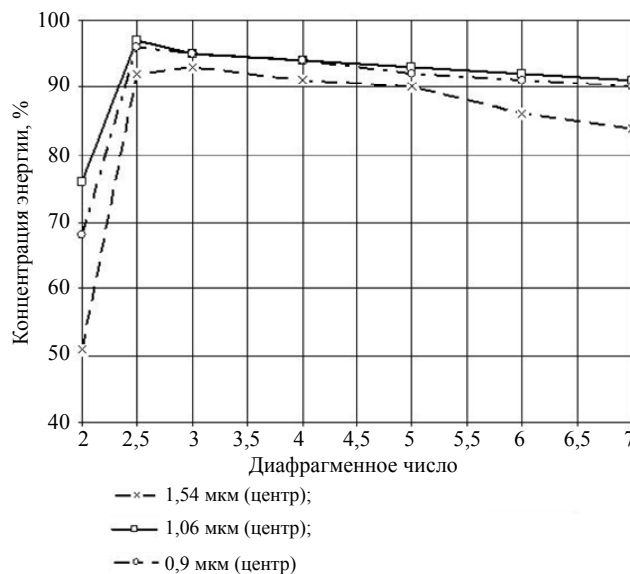


Рис. 3. Применение объектива "Гелиос 97" в системах с лазерной подсветкой (центр поля)

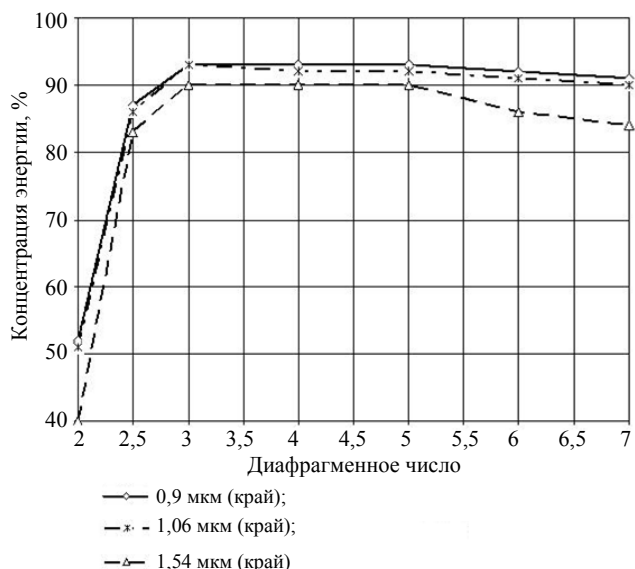


Рис. 4. Применение объектива "Гелиос 97" в системах с лазерной подсветкой (край поля)

Проанализировав указанные результаты, можно сделать вывод о том, что уже при относительном отверстии 1:2,5 возможно использование этого объектива для озвученных выше задач. У объектива "Гелиос 97" при увеличении относительного отверстия качество существенно ухудшается. Это связано с тем, что длина волны в 2—3 раза больше, чем в видимом диапазоне. При этом влияние дифракции при низких относительных отверстиях оказывается существенным.

В результате проведенных исследований для спектрального диапазона 0,9—1,7 мкм можно рекомендовать применение объективов "Юпитер 8" и "Индустар 71" (рис. 5).

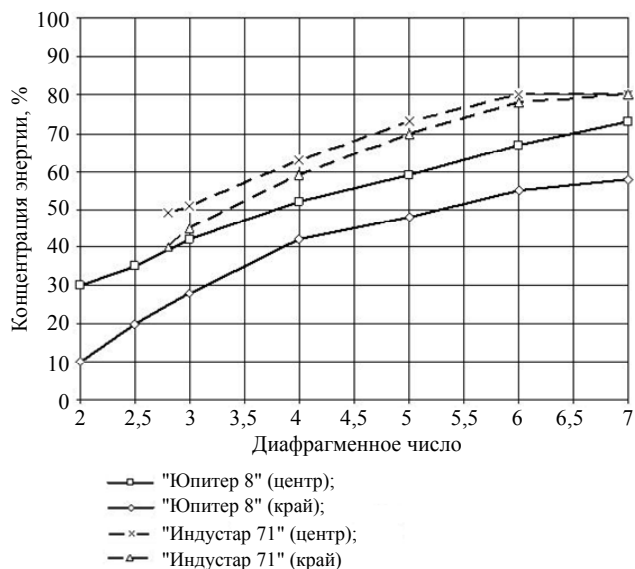


Рис. 5. Качество объективов "Индустар 71" и "Юпитер 8" в диапазоне 0,9—1,7 мкм

Все исследуемые объективы были просчитаны для весовых коэффициентов, равных 1. Представ-

ляет практический интерес проведение расчетов для весовых коэффициентов, учитывающих спектральную чувствительность камеры и спектральное распределение дневного и ночного подсветов (спектральное распределение излучения днем и ночью различно, так как днем оно определяется спектром Солнца, а ночью — люминесценцией ночного неба). Произведение спектральной чувствительности камеры на основе МФПУ A_3B_5 на спектральное распределение излучения подсвета, взятое в относительной мере, представлено на рис. 6. В качестве примера демонстрации влияния коэффициентов на качество изображения взят объектив "Гелиос 97" (рис. 7).



Рис. 6. Весовые коэффициенты с учетом спектральной чувствительности камеры и подсвета

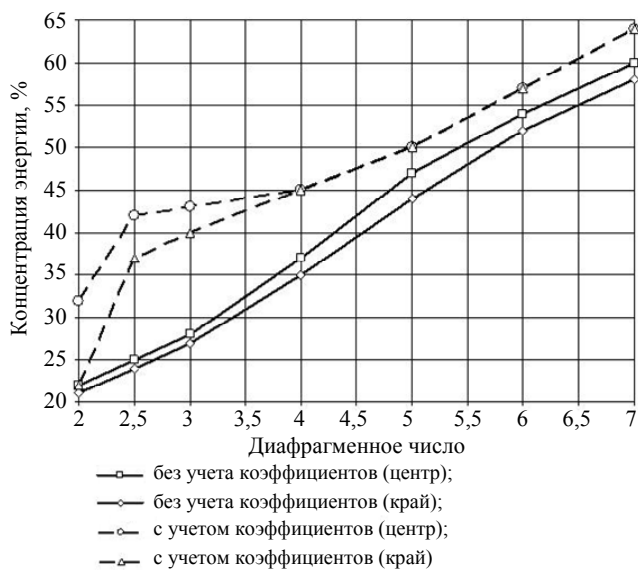


Рис. 7. Качество объектива "Гелиос 97" при введении весовых коэффициентов

Следует учесть, что серийная фотографическая оптика просветляется на видимый диапазон спектра. По этой причине в диапазоне с $\lambda_{\text{max}} \approx 1,6$ мкм будет наблюдаться существенное падение пропускания в схемах, использующих большое количество линз. По закону Френеля коэффициент отражения прямо пропорционален квадрату разницы показателей преломления сред, на границе которых происходит преломление лучей. В связи с

этим для обеспечения максимального пропускания целесообразно использовать объективы, имеющие минимальное количество линзовых компонентов. При проведении исследований были выбраны схемы, имеющие в своем составе склеенные компоненты, так как это существенно позволяет сократить количество компонентов и, как следствие, повысить пропускание.

В таблице указаны соответствующие параметры использованных в исследованиях отечественных серийных объективов.

Отечественные объективы

Наименование объектива	Фокусное расстояние, f' , мм	Относительное отверстие $1:n$	Количество линз/групп
"Вега-1"	52	$n = 1,4$	5/4
"Зенитар К2"	50	1,4	7/6
"Зенитар-1К"	85	1,4	7/6
"Гелиос 32"	15	2	6/4
"Гелиос 23"	35	2	6/4
"Гелиос 97"	52	2	6/4
"Гелиос 49"	59	2	6/4
"Гелиос 40"	85	1,5	6/4
"Индустар 94"	28	2,8	4/3
"Индустар 81"	38	2,8	4/3
"Индустар 71"	46	2,8	4/3
"Индустар 50"	52	2,9	4/3
"Индустар 21"	80	2,8	4/3
"Мир 11"	12,5	2	7/6
"Мир 46"	35	1,4	10/8
"Мир 3"	66	3,5	6/5
"Юпитер 12"	35	2,7	6/4
"Юпитер 8"	52	2	6/3
"Юпитер 9"	83	2	7/3

Как уже указывалось выше, предпочтение следует отдать объективам с меньшим количеством компонентов (имеющим склейки). С учетом изложенных выше нюансов объектив "Юпитер 8" может быть применим для большинства задач по макетированию приборов и систем для спектрального диапазона 0,9—1,7 мкм. На рис. 8 показаны результаты расчетов качества изображения объектива "Юпитер 8".

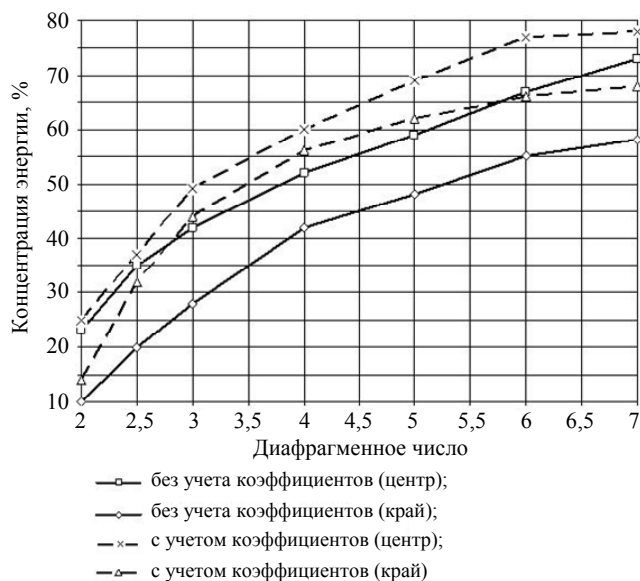


Рис. 8. Качество объектива "Юпитер 8" в диапазоне 0,9—1,7 мкм

Заключение

Исследованы возможности применения отечественных серийных фотографических объективов для формирования изображения в оптико-электронных приборах в спектральном диапазоне 0,9—1,7 мкм. Проведены расчетные исследования объективов в монохроматическом режиме на длинах волн 0,63; 0,9; 1,06 и 1,54 мкм, что позволяет оценить возможность их применения в активных и пассивных системах, работающих в спектральных диапазонах 0,9—1,7 и 1,28—1,6 мкм.

Литература

1. Амосова А. М., Мазин М. Г. Исследования оптических трактов для оптико-электронных приборов на спектральный диапазон 0,9—1,7 мкм: Сб. тез. конф. "Студенческая весна 2010". — М.: МФТИ, 2010.
2. Горелик Л. И., Мазин М. Г., Полесский А. В. Применение серийных фотографических объективов для макетирования оптико-электронных систем спектрального диапазона 0,9—1,7 мкм, XXI Междунар. науч.-техн. конф. по фотоэлектронике и приборам ночного видения, тезисы докладов. — М.: ФГУП «НПО "Орион"», 2010.
3. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. — М.: Мир, 1988.
4. Волф У., Цисис Г. Справочник по инфракрасной технике. Том 1. — М.: Мир, 1995.
5. Ллойд Дж. Системы тепловидения. — М.: Мир, 1978.
6. Хадсон Р. Инфракрасные системы. — М.: Мир, 1972.
7. Каталог Красноярского оптико-механического завода.
8. Каталог отечественных объективов в программе OPAL.

Analysis of availability of domestic lens for the 0.9 —1.7 μm spectral range

L. I. Gorelik, M. G. Mazin
Orion Research-and-Production Association,
46/2 Enthusiasts road, Moscow, 111123, Russia
E-mail: orion@orion-ir.ru

Possibilities of application of domestic serial photographic objectives for the 0.9—1.7 μm optical-electronic devices are investigated. Simulations of lens systems are carried out in the 0.63; 0.9; 1.06 and 1.54 μm monochromatic modes that allows to estimate possibility of their application in the active and passive systems working in 0.9—1.7 and 1.28 —1.6 μm spectral ranges.

PACS: 85.60.-q

Keywords: photographic lens, spectral range, system, wavelength.

Bibliography — 8 references.

Received August 16, 2011