

## КРУПНОГАБАРИТНЫЙ МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫЙ ОБЪЕКТИВ

© 2011 г. О. А. Лебедев; В. Е. Сабинин, канд. хим. наук; С. В. Солж, канд. техн. наук

НИИ комплексных испытаний оптико-электронных приборов и систем, г. Сосновый Бор, Ленинградская обл.

E-mail: solk@sbor.net

Представлены оптическая схема и расчетные характеристики зеркально линзового объектива с апертурой 600 мм, относительным отверстием 1:3 и предназначенного для работы в области спектра 0,4–10 мкм.

**Ключевые слова:** крупногабаритный объектив, многоспектральный объектив, видимый и ИК спектральные диапазоны.

Коды OCIS: 110.0110, 350.1260

Поступила в редакцию 04.03.2011

В системах контроля космического пространства наряду с радиолокационными широко используются оптические системы, предназначенные для работы в сравнительно узких участках спектра и охватывающие в целом диапазон длин волн 0,8–13 мкм [1]. Требования к таким оптическим системам изложены в работах [1, 2]. Существуют различные подходы к проектированию подобных систем. Основное различие заключается в следующем – либо отдельная оптическая система создается для каждого спектрального диапазона, либо одна система работает в нескольких диапазонах. В работе [2] представлены две оптические схемы крупногабаритных (апертура 500 мм) светосильных (относительное отверстие 1:1,2) объективов для работы в спектральных диапазонах 1,8–2,6 и 3,2–4,2 мкм. Такой подход позволяет достигать высоких технических характеристик, получать хорошее качество изображения, но является при этом весьма затратным при производстве объективов.

Нами разработан объектив с апертурой 600 мм, относительным отверстием 1:3 и полем зрения  $1^\circ$ , работающий в спектральном диапазоне 0,4–10 мкм. Оптическая схема объектива приведена на рис. 1. Объектив представляет собой модифицированную схему Ричи–Кретьена с линзовым корректором. Коэффициент экранирования составляет 0,3. Модифицированная схема использована для того, чтобы отклонения параметров зеркал от теоретических вносили кому, которая компенсировала бы кому, вносимую линзовым коррек-

тором [3]. Корректор является однолинзовым и в отличие от известных [3, 4] не является афокальным.

По форме корректор выполнен в виде мениска, обращенного выпуклой поверхностью к вторичному зеркалу. Мениск расположен на малом расстоянии (0,03–0,06 фокусного рас-

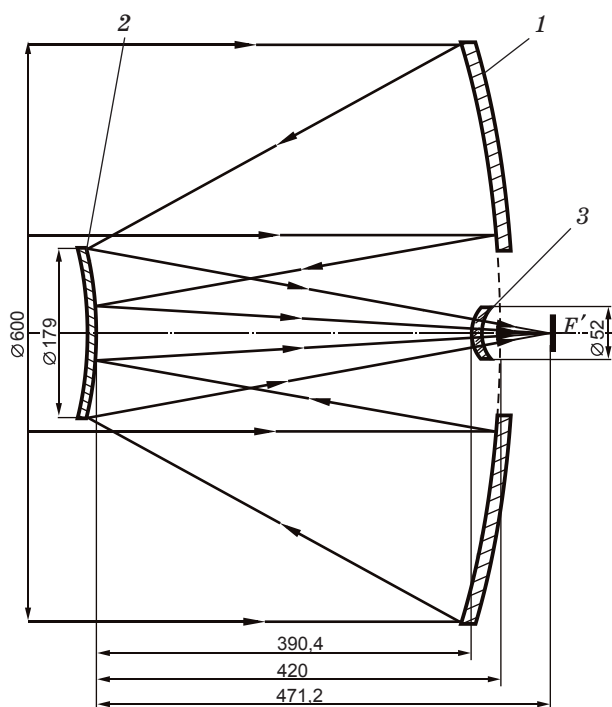
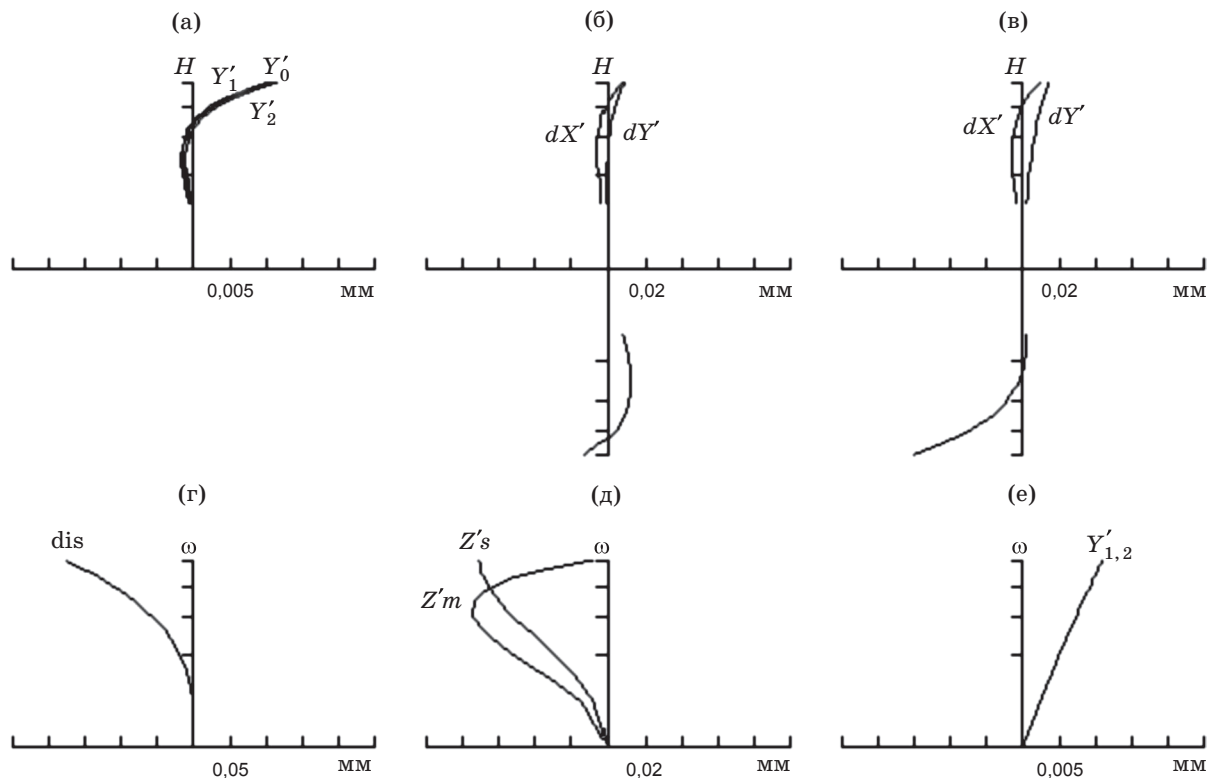


Рис. 1. Оптическая система объектива телескопа. 1 и 2 – зеркала, 3 – однолинзовый корректор (приведенные размеры – в мм).

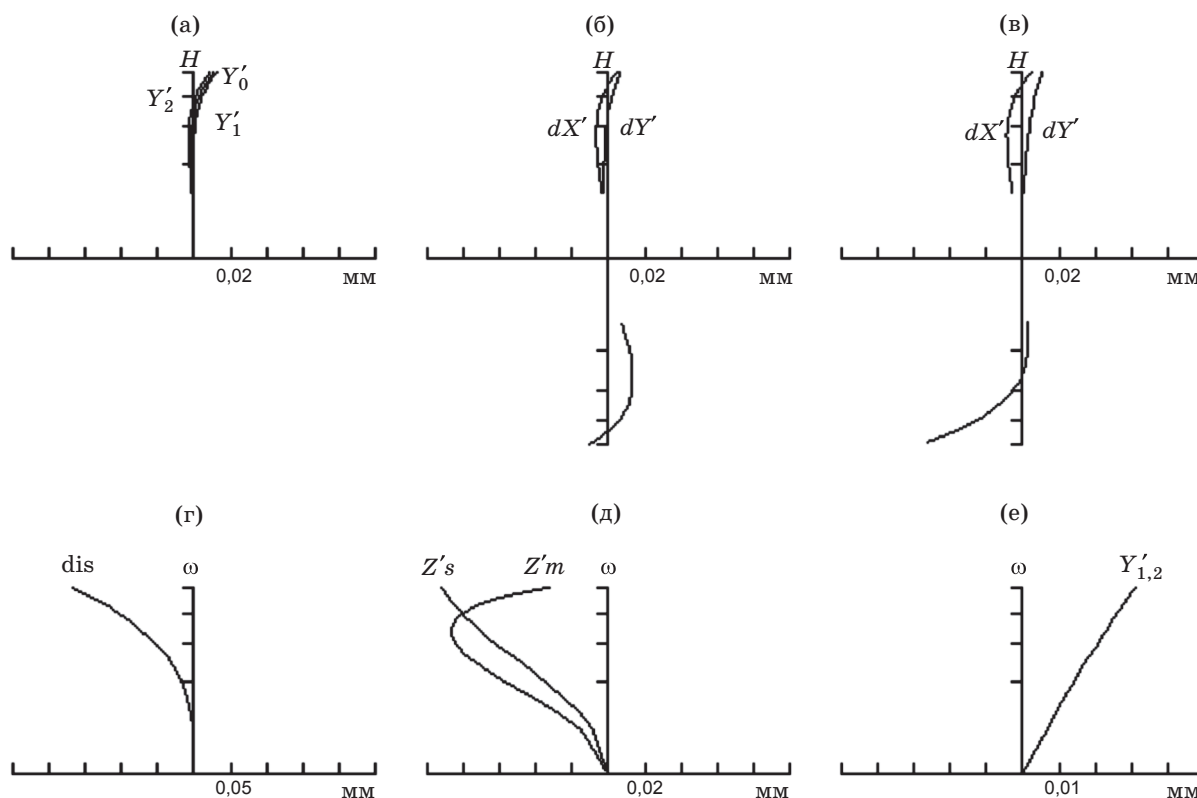
Спектральный диапазон, мкм	Диаметр кружка рассеяния при концентрации энергии 83,8%, мм		Коэффициент пропускания без учета центрального экранирования
	Центр поля зрения, $\omega = 0^{\circ}00'$	Край поля зрения, $\omega = 0^{\circ}30'$	
0,4–0,8	0,011	0,031	0,68
1,8–2,7	0,026	0,039	0,74
3,2–4,2	0,041	0,049	0,85
4,5–5,3	0,053	0,060	0,87
8,0–10,0	0,098	0,159	0,82

стояния) от плоскости изображения и обладает небольшой (от  $-2,8$  до  $-3,4$ ) отрицательной оптической силой для исправления астигматизма и кривизны поверхности изображения. Хроматические aberrации положения и увеличения, вносимые однолинзовым корректором в рабочих спектральных диапазонах (окна прозрачности атмосферы), незначительны. Так, для линзового корректора, выполненного из  $\text{BaF}_2$ , в спектральном диапазоне  $0,4-0,8$  мкм, остаточный продольный хроматизм, вноси-

мый корректором, составляет 8 мкм. Остаточный хроматизм увеличения для угла поля зрения  $1^{\circ}$  составляет 16 мкм. Остаточная дисторсия всей оптической системы не превышает 1%. Эффективное исправление перечисленных выше aberrаций позволило увеличить световые диаметры при минимальной длине оптической системы. Это заметно повысило светосилу и относительное отверстие объектива при существенно расширенном угле поля зрения, что ранее было недостижимо.



**Рис. 2.** Графики геометрических aberrаций для диапазона  $0,4-0,8$  мкм. а – сферическая aberrация для трех длин волн:  $0,546$  мкм – кривая  $Y'_0$ ,  $0,4$  мкм – кривая  $Y'_1$ ,  $0,8$  мкм – кривая  $Y'_2$ ; б и в – полевые aberrации для полевых углов в пространстве предметов  $\omega = 0,35^{\circ}$  и  $\omega = 0,5^{\circ}$  соответственно (линейное поле  $2Y' = 32$  мм); г – дисторсия; д – составляющие астигматизма  $Z'm$  (меридиональная) и  $Z's$  (сагиттальная); е – хроматизм увеличения для первой и второй длин волн –  $Y'_{1,2}$ .



**Рис. 3.** Графики геометрических aberrаций для диапазона 8–10 мкм. а – сферическая aberrация для трех длин волн: 9 мкм – кривая  $Y'_0$ , 8 мкм – кривая  $Y'_1$ , 10 мкм – кривая  $Y'_2$ ; б и в – полевые aberrации для полевых углов в пространстве предметов  $\omega = 0,35^\circ$  и  $\omega = 0,5^\circ$  соответственно (линейное поле  $2Y' = 32$  мм); г – дисторсия; д – составляющие астигматизма  $Z'm$  (меридиональная) и  $Z's$  (сагиттальная); е – хроматизм увеличения для первой и второй длин волн –  $Y'_{1,2}$ .

Применение однолинзового корректора позволяет использовать для его изготовления материалы, которые прозрачны в широком спектральном диапазоне без нанесения дополнительных просветляющих покрытий. В нашем случае был использован ВаF<sub>2</sub>. Такой подход позволяет, меняя приемники излучения в зависимости от задач и условий наблюдения или используя спектроделители, применять один объектив для работы в нескольких спектральных диапазонах.

В таблице приведены диаметры пятен рассеяния и коэффициенты пропускания для спектральных диапазонов 0,4–0,8; 1,8–2,7; 3,2–4,2; 4,5–5,3 и 8–10 мкм в центре и по полю. На рис. 2 и 3 приведены графики геометрических aberrаций для спектральных диапазонов: 0,4–0,8 и 8–10 мкм.

Смещение плоскости изображения при изменении температуры в пределах  $\pm 40^\circ$  в случае изготовления деталей корпуса объектива

\* \* \* \* \*

из инвара, титана или алюминия составит 0,4, 2,4, 6,7 мм соответственно. Компенсация может осуществляться перемещением вторичного зеркала. Наибольшее перемещение будет при изготовлении корпуса объектива из алюминия и составит 0,6 мм. Диаметр пятен рассеяния при этом изменится не более чем на 5%.

Опыт нашего предприятия по проектированию и изготовлению крупногабаритных объективов показывает, что главное и вторичное зеркала телескопа могут быть изготовлены из ситалла или церодура с высокой степенью облегчения. Разгрузка типа Ласселя главного зеркала позволяет осуществлять сканирование по азимуту (0–360°) и углу места (0–90°). Отражающее покрытие зеркал (алюминий с защитой) позволяет получить отражение 85% в видимом и 96% в ИК диапазонах.

На оптическую систему с описанным выше компенсатором подана заявка на патент № 2010152188 от 20.12.2010.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гришин Е.А., Миловидов В.Л., Шаргородский В.Д. Современное состояние инфракрасных систем наблюдения за космическими объектами с земли // Приборы и техника эксперимента. 1999. № 1. С. 3–17.
  2. Потапова Н.И., Стариков А.Д., Цветков А.Д. Светосильный зеркально-линзовый объектив для инфракрасного диапазона // Оптический журнал. 2003. Т. 70. № 4. С. 76–81.
  3. Михельсон Н.Н. Оптические телескопы. Теория и конструкция. М.: Наука, 1976. 512 с.
  4. Чуриловский В.Н. Теория хроматизма и аберраций третьего порядка. Л.: Машиностроение, 1968. 312 с.
-