

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСХОДНЫХ СИСТЕМ ОРТОСКОПИЧЕСКИХ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТИВОВ В СПЕКТРАЛЬНОМ ДИАПАЗОНЕ 0,2–1 мкм

© 2012 г. Г. И. Цуканова, канд. техн. наук; А. В. Бахолдин, канд. техн. наук

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург

E-mail: bakholdin@aco.ifmo.ru, ZukanovaGI@aco.ifmo.ru

Выполнено исследование зеркальных систем с промежуточным изображением после отражения от двух зеркал, рассчитанных для области аббераций третьего порядка. Цель исследования – поиск вариантов с исправленной дисторсией, приемлемыми значениями относительного отверстия главного зеркала и экранирования входного зрачка. Исследование проведено для систем с относительным отверстием 1:6 и угловым полем $2\omega = 2^\circ$. Выполнен сравнительный анализ зеркальных и зеркально-линзовых объективов с одинаковыми оптическими характеристиками.

Ключевые слова: ортоскопические объективы, зеркальные системы, зеркально-линзовые телескопы, исправление дисторсии, абберации.

Коды OCIS: 220.1000, 350.1260, 350.6090.

Поступила в редакцию 21.11.2011.

В оптических системах для астрометрических и фотометрических исследований особое внимание уделяется исправлению комы, дисторсии и хроматизма увеличения. Из зеркальных и зеркально-линзовых систем эту задачу успешно решает система Шмидта, как классическая с линзовой коррекционной пластиной, так и зеркальный Шмидт [1, 2]. Однако при небольших относительных отверстиях телескопов длина зеркально-линзовой системы Шмидта получается большой. Даже зеркальный Шмидт с дополнительным плоским зеркалом, расположенным между planoидным зеркалом и сферическим, будет иметь осевую длину больше фокусного расстояния. Возможны два варианта построения малогабаритных оптических систем с небольшими относительными отверстиями, значительными угловыми полями и широким спектральным диапазоном:

а) зеркально-линзовая система с двумя асферическими зеркалами и двухлинзовым афокальным компенсатором из кварца или флюорита (рис. 1а), известная как система Ричи–Кретьена [3],

б) трехзеркальная система с промежуточным изображением после второго зеркала, в которой главное зеркало эллиптическое, близкое к параболическому, вторичное – вы-

пуклое гиперболическое и третье – вогнутое эллиптическое с небольшим коэффициентом деформации (рис.1б) [4].

Исследование и специфика расчета системы типа Ричи–Кретьена с двухлинзовым компенсатором

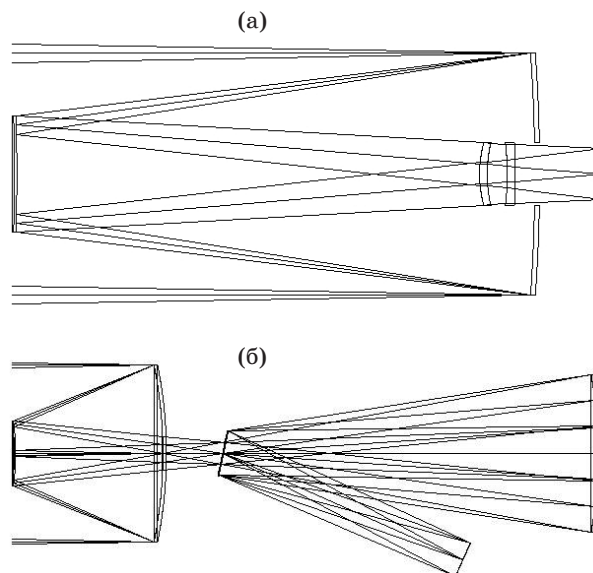


Рис. 1. Оптические схемы ортоскопических систем длиннофокусных объективов. а – двухзеркальная система Ричи–Кретьена с двухлинзовым афокальным компенсатором, б – трехзеркальная система с промежуточным изображением после второго зеркала.

сатором и исправленной дисторсией в данной работе не приводятся, а выполняется только сравнение одного из рассчитанных объективов с зеркальным вариантом.

В работе выполнен расчет в области аберраций третьего порядка трехзеркальных объективов с промежуточным изображением после отражения от двух зеркал и поиск вариантов с исправленной или малой дисторсией и приемлемыми величинами относительного отверстия главного зеркала и экранирования входного зрачка.

В трехзеркальном телескопе экранирование входного зрачка происходит по двум причинам. Первое экранирование – это экранирование вторым зеркалом, как в системах Кассегрена и Ричи–Кретьена. Это экранирование не зависит от относительного отверстия и углового поля системы. Второе экранирование входного зрачка происходит из-за отверстия в плоском

зеркале. Вблизи отверстия находится промежуточное изображение, которое и определяет размер отверстия. Второе экранирование зависит прямо пропорционально от относительного отверстия и углового поля системы. Чем меньше относительное отверстие системы и больше угловое поле, тем экранирование больше.

Важным параметром является и относительное отверстие главного зеркала, так как оно определяет трудность изготовления зеркала с высокой степенью точности и допуски на изготовление и сборку. Поэтому исследование этих систем необходимо выполнять для каждого конкретного сочетания величин относительного отверстия и углового поля. В работе рассматриваются только центрированные системы, работающие полным полем. В таблице приведены основные данные систем, рассчитанных для области аберраций третьего порядка с ис-

Основные данные вариантов рассчитанных систем

№	K_1	d_1	d_2	α_3	h_3	S_V	h_2	ε
1	1,4	-0,181	0,362	2,0	-0,5	3,14	0,223	0,418
2	1,4	-0,177	0,388	1,9	-0,5	1,96	0,238	0,464
3	1,4	-0,174	0,418	1,8	-0,5	0,792	0,253	0,522
4	1,4	-0,170	0,452	1,7	-0,5	-0,391	0,268	0,60
5	1,3	-0,164	0,373	2,0	-0,5	2,392	0,245	0,418
6	1,3	-0,161	0,40	1,9	-0,5	1,347	0,260	0,464
7	1,3	-0,158	0,430	1,8	-0,5	0,294	0,274	0,522
8	1,3	-0,154	0,465	1,7	-0,5	-0,783	0,29	0,60
9	1,25	-0,154	0,380	2,0	-0,5	1,988	0,259	0,418
10	1,25	-0,151	0,407	1,9	-0,5	1,013	0,274	0,464
11	1,25	-0,148	0,438	1,8	-0,5	0,022	0,288	0,522
12	1,25	-0,145	0,473	1,7	-0,5	-0,998	0,304	0,60
13	1,3	-0,158	0,435	2,0	-0,6	2,661	0,270	0,348
14	1,3	-0,155	0,466	1,9	-0,6	1,853	0,286	0,387
15	1,3	-0,152	0,501	1,8	-0,6	1,038	0,302	0,435
16	1,3	-0,148	0,540	1,7	-0,6	0,206	0,319	0,498
17	1,25	-0,149	0,443	2,0	-0,6	2,434	0,286	0,348
18	1,25	-0,146	0,474	1,9	-0,6	1,588	0,301	0,387
19	1,25	-0,142	0,509	1,8	-0,6	0,822	0,317	0,435
20	1,25	-0,139	0,549	1,7	-0,6	0,034	0,333	0,498

правленными сферической аберрацией, комой, астигматизмом и кривизной изображения: K_1 – диафрагменное число главного зеркала, d_1 – расстояние между первым и вторым зеркалами при $f' = 1$, d_2 – расстояние между вторым и третьим зеркалами при $f' = 1$, α_3 – увеличение третьего зеркала, h_3 – отношение диаметра осевого пучка третьего зеркала к диаметру входного зрачка, S_V – коэффициент дисторсии 3-го порядка, h_2 – экранирование по диаметру зрачка, вносимое вторым зеркалом, ε – экранирование, вносимое отверстием в плоском зеркале при $2\omega = 2^\circ$ и относительном отверстии системы 1:6. При исследовании рассматривались только системы, коэффициент экранирования которых по диаметру не превышает 0,5. Из таблицы следует, что первое экранирование вторым зеркалом (h_2) меньше, чем второе экранирование отверстием в четвертом зеркале (ε).

При относительном отверстии главного зеркала 1:1,4–1:1,3 зеркальные системы с исправленной дисторсией имеют коэффициент экранирования ε больше 0,5. Если требования к величине остаточной дисторсии ослаблены, то могут быть получены системы с экранированием по диаметру меньше 0,5. Системы с относительным отверстием главного зеркала 1:1,25 могут иметь $S_V = 0$ и экранирование не более 0,5. Одна из систем, показанная на рис. 16 (№ 20 в таблице), имеет практически нулевое значение дисторсии ($S_V = 0,034$).

Функции концентрации энергии этого варианта зеркальной системы и зеркально-линзовой системы Ричи–Кретьена, показанной на рис. 1а, при одинаковых оптических характеристиках (фокусном расстоянии 3000,0 мм, относительном отверстии 1:6, угловом поле $2\omega = 2^\circ$) для спектрального диапазона 0,21–1,0 мкм показаны на рис. 2.

На рис. 3 приведены графики дисторсии, из которых следует, что остаточная дисторсия в системе Ричи–Кретьена (рис. 3а) имеет разные значения для разных длин волн и значительно больше, чем в зеркальной системе (рис. 3б). Если сравнивать эти две системы, то преимуществом зеркально-линзовой системы является меньшая осевая длина (порядка $0,45f'$) и существенно меньшее относительное отверстие главного зеркала. Преимуществом зеркальной системы является полное отсутствие хроматических аберраций, более высокое качество изображения по всему полю и независимость дисторсии от длины волны.

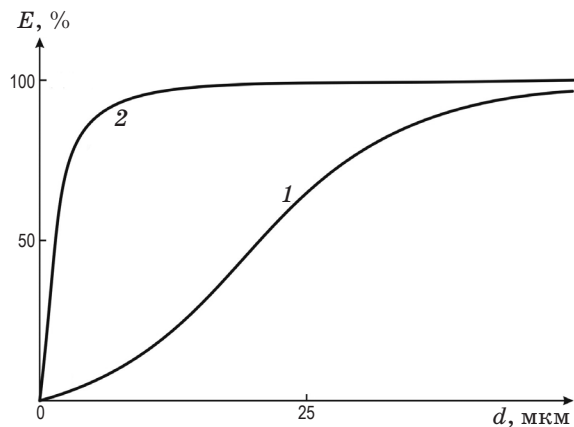


Рис. 2. Функции концентрации энергии для осевой точки зеркально-линзовой (1) и трехзеркальной (2) систем.

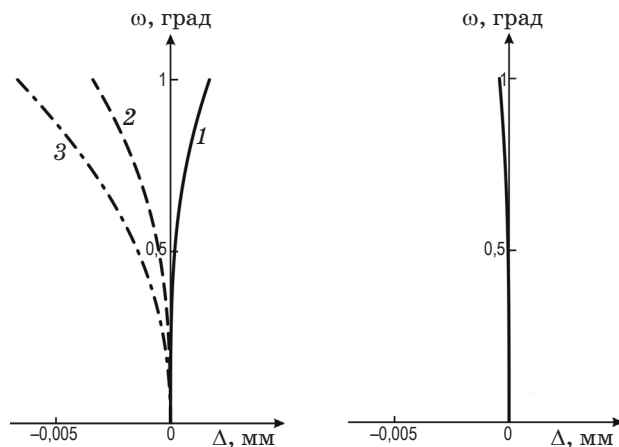


Рис. 3. Графики дисторсии. а – зеркально-линзовая система (1 – $\lambda = 0,21$ мкм, 2 – $\lambda = 0,3$ мкм, 3 – $\lambda = 1,05$ мкм), б – трехзеркальная система.

Важным преимуществом зеркальной системы является отсутствие длинной бленды у главного зеркала и надежная защита плоскости изображения от постороннего света (выходной зрачок находится вблизи плоского зеркала). В системе Ричи–Кретьена требуются большая внешняя бленда у главного зеркала и внутренние бленды для защиты от прямой засветки плоскости изображения, что приводит к увеличению экранирования и виньетирования. Если сравнивать трехзеркальную систему с зеркальной системой Шмидта, то она приблизительно в два раза короче и имеет существенно меньший вес. Асферические поверхности в трехзеркальной системе только второго порядка и их контроль не представляет проблем.

Преимущества зеркальной системы перед зеркально-линзовой системой Ричи–Кретьена будут в большей степени проявляться при уменьшении относительного отверстия оптической системы и увеличении углового поля, так как в системе Ричи–Кретьена возникнут

проблемы с защитой плоскости изображения от прямой засветки. Если же плоскость изображения защитить от постороннего света, тогда экранирование входного зрачка и виньетирование по полю станут неприемлемыми.

* * * * *

ЛИТЕРАТУРА

1. Захаренков В.Ф., Стариченкова В.Д., Чубей М.С., Канаев И.И., Цуканова Г.И. Космический астрометрический эксперимент “Струве” // Оптический журнал. 2001. Т. 68. № 8. С. 67–74.
2. Ершов В.Н., Стариченкова В.Д., Захаренков В.Ф., Цуканова Г.И. Новая оптическая техника для космического астрометрического проекта “Струве” // J. Korean Astron. Soc. 1996. V. 29. suppl.-s. 425–426.
3. Михельсон Н.Н. Оптические телескопы. Теория и конструкция. М.: Наука, 1976. 512 с.
4. Чубей М.С., Цуканова Г.И., Бахолдин А.В. Специфика расчета оптической системы астрографа для проекта “Межпланетная солнечная стереоскопическая обсерватория” // Оптический журнал. 2007. Т. 74. № 7. С. 37–41.