

УДК 535.317

ДВУХЛИНЗОВЫЕ СКЛЕЕННЫЕ ОБЪЕКТИВЫ С АСФЕРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ВТОРОГО ПОРЯДКА

Л.Н. Андреев, В.В. Ежова

Рассмотрена методика расчета двухлинзовых склеенных объективов с асферической поверхностью второго порядка. Приведена принципиальная оптическая схема и результаты абберационных расчетов светосильного двухлинзового объектива.

Ключевые слова: объектив, асферика, абберации.

Двухлинзовые склеенные объективы находят широкое применение в различных областях приборостроения благодаря простой оптической схеме и оптимальным коррекционным возможностям.

Большой вклад в решение этой проблемы внес Г.Г. Слюсарев, предложивший методику расчета объективов на основе теории аббераций третьего порядка [1]. В дальнейшем в развитие этой методики были разработаны различные вспомогательные таблицы для оптимизации расчетов [1–3]. Однако рассчитанные двухлинзовые склеенные объективы со сферическими поверхностями имеют относительное отверстие, не превышающее $D/f' = 1:5; 1:4$, что в ряде случаев является недостаточным. Целью работы являлись разработка методики проектирования и расчет двухлинзовых склеенных объективов с асферической поверхностью второго порядка с увеличенным относительным отверстием до $D/f' = 1:2,5; 1:2$.

У двухлинзовых объективов, как правило, исправлению подлежат сферическая абберация, кома и хроматизм положения. Сущность предлагаемой методики заключается в следующем.

В качестве исходной оптической схемы выбирается плоско-выпуклая линза, склеенная из двояково-выпуклой и плоско-вогнутой линз из «хроматической» пары стекол, например ТК14–Ф1 или СТК9–ТФ4. Это объясняется тем, что у плоско-выпуклой линзы из стекол с показателем преломления $n = 1,6–1,75$, обращенной выпуклой поверхностью к плоскости предмета, величина W , определяющая кому (η), близка к нулю, а величина P , определяющая сферическую абберацию ($\Delta y'$), близка к минимуму [5–6]. В дальнейшем, вводя асферизацию выпуклой сферической поверхности, добиваемся необходимой коррекции сферической абберации. В случае необходимости путем прогиба компонента добиваемся исправления комы. Хроматические абберации исправляются за счет введения хроматической поверхности склейки [7].

Из условия ахроматизации $\Phi_1 + \Phi_2 = 1$; $\frac{\Phi_1}{v_1} + \frac{\Phi_2}{v_2} = 0$, где Φ_1, Φ_2 – оптические силы линз, определяем радиус хроматической поверхности:

$$r_{xp} = -\frac{(v_1 - v_2)}{v} (n - 1) f'_0,$$

где v_1 и v_2 – коэффициенты средней дисперсии; n – показатель преломления для средней длины волны стекол; f'_0 – фокусное расстояние объектива. Следует отметить, что хроматическая поверхность не влияет на коррекцию монохроматических аббераций, в том числе и высшего порядка, благодаря чему и удается существенно повысить относительное отверстие объектива [6].

В отличие от классических двухлинзовых склеенных объективов, объективы, рассчитанные по предложенной методике, обладают следующими отличиями:

1. для линз использована хроматическая пара стекол;
2. первая выпуклая поверхность выполнена асферической с уравнением поверхности

$$y^2 = 2r_0 z - (1 - e^2) z^2, \text{ где } r_0 - \text{ радиус кривизны при вершине поверхности; } e^2 - \text{ квадрат эксцентриситета поверхности; } y, z - \text{ координаты асферической поверхности.}$$

Для иллюстрации методики расчета приведены конструктивные элементы и остаточные абберации объектива со следующими характеристиками: $f' = 100$ мм; $D/f' = 1:2,5$; $2\omega = 6^\circ$. Первая поверхность рассчитанного объектива выполнена асферической с $e^2 = 0,53$. Оптическая схема рассчитанного объектива представлена на рисунке, конструктивные параметры – в табл. 1. Абберации для точки на оси и главного луча рассчитанного объектива представлены в табл. 2, 3. Обозначения величин в табл. 1–3 соответствуют приведенным в [4].

Таким образом, введение в оптическую схему двухлинзового объектива с асферической поверхностью второго порядка (эллипсоидальной) и использование хроматической пары стекол позволили увеличить его относительное отверстие до $D/f' = 1:2,5; 1:2$. Следует отметить достаточно высокую степень коррекции сферической абберации и комы.

Коррекция кривизны поверхности, астигматизма и вторичного спектра у объективов с асферической поверхностью идентична коррекции классических двухлинзовых объективов с относительным отверстием $D/f' = 1:5$.

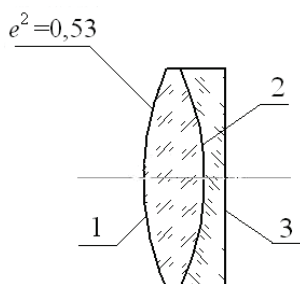


Рисунок. Оптическая схема рассчитанного объектива

Номер поверхности	Радиусы, мм	Осевые расстояния, мм	Марки стекол	Показатель преломления	Коэффициенты средней дисперсии
			Воздух	1,0000	
1	68,24	15	СТК9	1,7460	50,00
2	-59,61	5	ТФ4	1,7462	28,00
3	800		Воздух	1,0000	

Таблица 1. Конструктивные параметры объектива

h	$\Delta S'$, мм	$\Delta y'$, мм	η , %	$S'_{F'} - S'_{C'}$, мм	$\text{tg}\sigma' \times 10^2$
20,00	0,003	0,001	0,02	0,19	20,65
17,32	0,006	0,001	0,01	0,09	17,79
14,14	0,006	0,001	0	0	14,45
10,00	0,004	0	0	-0,08	10,16
0	0	0	0	-0,16	0

Таблица 2. Аберрации точки на оси объектива

ω	y' , мм	z'_m	z'_s	$z'_s - z'_m$	$\frac{\Delta y'}{y'}$, %	$y'_{F'} - y'_{C'}$, мм
3°	5,181	-0,46	-0,20	0,25	-0,007	0,003
2°07'	3,663	-0,23	-0,10	0,13	-0,003	0,002

Таблица 3. Аберрации главного луча объектива

1. Слюсарев Г.Г. Расчет оптических систем. – Л.: Машиностроение, 1975. – 639 с.
2. Трубка С.В. Расчет двухлинзовых склеенных объективов. Справочник. – Л.: Машиностроение, 1984. – 142 с.
3. Русинов М.М. Габаритные расчеты оптических систем. – М.: Госгеолотехиздат, 1979. – 400 с.
4. Вычислительная оптика. Справочник / Под общ. ред. М.М. Русинова. – Л.: Машиностроение, 1984. – 423 с.
5. Андреев Л.Н., Громов А.В., Тарасова Л.Г., Олейникова Н.А. Аберрационные свойства тонких линз с асферическими поверхностями второго порядка // Изв. вузов. Приборостроение. – 2005. – Т. 48. – № 5. – С. 55–58.
6. Андреев Л.Н., Стреляева Л.Г. Свойства оптических систем из одинаковых тонких компонентов // Оптический журнал. – 2001. – Т. 68. – № 7. – С. 27–28.
7. Андреев Л.Н. Прикладная теория аберраций: Учебное пособие. – СПб: СПб ГИТМО (ТУ), 2002. – 100 с.

Андреев Лев Николаевич – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, доктор технических наук, профессор.

Ежова Василиса Викторовна – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, студент, evv_foist@mail.ru