

СВЕТОСИЛЬНЫЙ ЗЕРКАЛЬНЫЙ ОБЪЕКТИВ-ПЛАНАНАСТИГМАТ

Артюхина Н.К.¹, Батуро И.Н.¹, Котов М.Н.²

¹Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

²ОАО «Пеленг», Минск, Республика Беларусь

Одно из направлений в вычислительной оптике – постоянный поиск новых схем с улучшенными характеристиками, что определено развитием новых технологий и исследований в оптической отрасли. Для решения широкого круга задач требуются зеркальные объективы, обладающие рядом преимуществ по сравнению с линзовыми.

Интересна идея построения конфигураций многозеркальных объективов с корректором полевых аберраций (ПК) в концепции двухступенчатой оптики (ДО) [1], которая дает много преимуществ: упрощает систему блендов; дает эффективную и удобную точку в схеме, куда можно помещать световые фильтры, фокальные корректоры, сканирующие элементы, поляризаторы, преобразователи изображения и т.д. Вынос ПК из двух последних зеркал за пределы базовой системы дает возможность увеличивать их диаметры и увеличить поле зрения. Конфигурация базовой системы может иметь промежуточное изображение или быть афокальной.

В данной работе рассматривается новое схемное решение зеркального светосильного объектива с увеличенным полем зрения [2]. Система состоит из четырех зеркал, два из которых могут быть изготовлены в виде монолита – линзовидной детали с зеркальными вогнутыми поверхностями, что делает конструкцию компактной (рисунок 1)

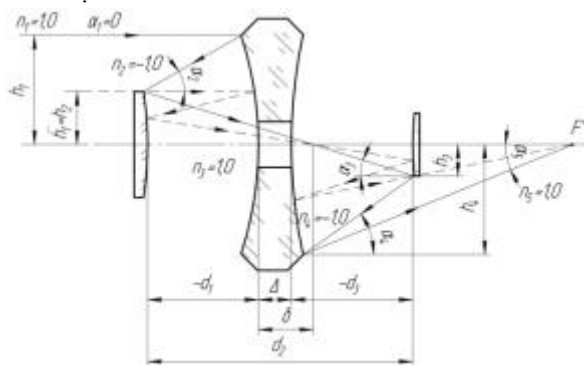


Рисунок 1 – Параметрическая схема зеркального объектива

Параметрический расчет такого объектива целесообразно проводить по схеме ДО, в которой наибольший диаметр зеркальных компонентов определен размером входного зрачка и имеется промежуточное изображение между ступенями: эквивалентное фокусное расстояние равно

$f'_{\text{сист}} = \beta f'_{\text{фок.об.}}$, где $f'_{\text{фок.об.}}$ – фокусное расстояние объектива (к примеру, двухзеркального), β – линейное увеличение второй ступени. В такой схеме возможно устранение четырех монохроматических аберраций 3-го порядка, т.к. она обладает большим числом коррекционных параметров по сравнению с базовой афокальной. Отличие методики расчета состоит в том, что при $\alpha_3 \neq 0$ параметр d_2 нельзя использовать для компенсации аберраций: все значения толщин d_s (в том числе и d_2) определены при известных значениях углов α_s и высот h_s , но зато появляется дополнительный параметр $h_3 \neq h_2$.

Отметим также, что одной из задач расчета зеркальных систем наряду с получением высокой светосилы и увеличенного поля зрения, является уменьшение числа асферических поверхностей, что улучшает технологичность изготовления оптики. При попытке уменьшить число асферических поверхностей неизбежно возрастает роль конструктивных параметров, которые в таких системах являются «неполноценными» (их лучше использовать в начале расчета), а оставшиеся аберрации компенсировать «полноценными» коррекционными параметрами – деформациями зеркальных поверхностей σ_s , что соответствует методологии смены приоритетов [3].

При расчете зеркальной системы применим формулы, вытекающие из уравнений аберрационных полиномов [2, с.] для заданных условий нормировки. Предлагается методика эффективного проектирования, когда перед началом расчета задается из технологических соображений величина оптической силы первого зеркала $\alpha_2 = 1/f'_1$.

Основные формулы для габаритного моделирования объектива данного типа:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_3 &= \frac{h_2}{\delta - d_1}, \\ h_3 &= -h_2 \alpha_3 \frac{\Delta - \delta + 1}{\alpha_3 + h_2}, \\ \alpha_4 &= \alpha_3 \frac{1 + h_3}{h_3 + (\Delta - \delta)\alpha_3}, \\ h_2 &= -\frac{h_3}{1 + \alpha_3}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Параметр δ , входящий в формулы (1), определяет положение плоскости промежуточного изображения и может изменять свое значение.

Соответствующим подбором параметров первого параосиального луча (углов α_s и относительных высот h_s) были рассчитаны схемы с асферикой, определяемой деформациями σ_s и конструктивными параметрами: радиусов r_s и осевых расстояний d_s с использованием известных выражений для первого параосиального луча.

Для выполнения условия Петцваля (получение плоского изображения) предложена методика расчета, которая предполагает исследование зависимости коэффициента кривизны изображения 3-порядка для различных значений δ при выборе соответствующих величин α_2 и h_2 (рисунок 2). Величина h_2 определяет центральное экранирование \mathcal{E} . Практический интерес представляют системы, в которых значения α_2 , δ , d_1 и d_2 приведены в таблице 1. Значения δ получены интерполяцией функции в заданном интервале.

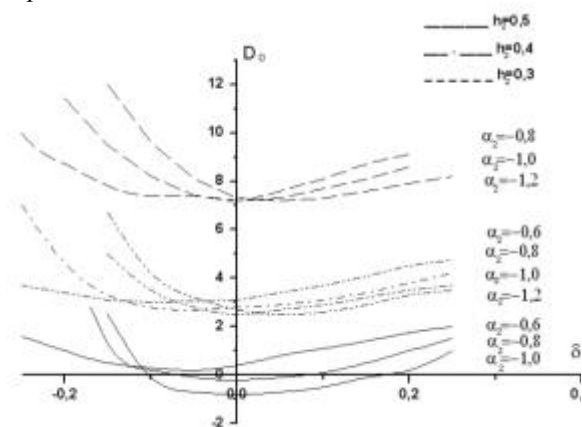


Рисунок 2 – Графическая интерпретация исследования кривизны изображения

Системы могут быть достаточно светосильными (значения углов α_s невелики), для варианта №2: $\alpha_2 = \alpha_3 = -1,0$; $\alpha_3 = 0,756315$; $\alpha_4 = -1,650028$.

Варианты содержат асферические поверхности различного профиля, имеющие длину $l=(0,8-1,25) f'$. Они обладают стабильной коррекцией

УДК 681.7.015.2+535.317

ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КЛАССИФИКАЦИИ И КАТАЛОГИЗАЦИИ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Артюхина Н.К.¹, Марчик В.А.²

¹Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

²ОАО «Пеленг», Минск, Республика Беларусь

Тенденции научного технического прогресса нельзя представить без внедрения современных компьютерных технологий, включая автомати-

абerrаций по полю $2\omega=6^\circ \dots 8^\circ$ (кружок рассеяния 0,01 мм в центре и не превышает 0,05 мм с небольшим фоном выше этого предела на краю) для $f'=200$ мм, $D/f' = 1:1-1,2$ при экранировании $\mathcal{E}=0,3 \dots 0,58$. Три основные монохроматические aberrации откорректированы деформациями на трех зеркальных поверхностях. Для базового модуля был использован вариант со вторым сферическим зеркалом, когда деформации на первое и третье зеркала перераспределены так, что четвертое зеркало выполнено сферическим. Это особенно важно с технологической точки зрения. При расчете объектива также рассматривалась защита плоскости изображения от лучей «паразитной» засветки. Для устранения постороннего света, отраженного только от первого и второго зеркал, вводится бленда в свободное пространство, образованное осевым и экранированным лучом (рисунок 1). Для устранения постороннего света, попадающего на второе зеркало, минуя первое, а также лучей, многократно отраженных от других зеркал не требуется введения специальных бленд.

Таблица 1 – Варианты зеркальных план-объективов

| № вариантов | α_2 | δ | d_1 | d_2 |
|-------------|------------|----------|--------|--------|
| 1 | -0,8 | 0,0544 | -0,625 | 1,1020 |
| 2 | -1,0 | 0,1611 | -0,5 | 1,0348 |
| 3 | -1,2 | 0,2182 | -0,417 | 0,9775 |

Рассчитанные объективы могут применяться в приборах радиометрического и пленгационного типов.

1. Meinel, A.B. Two-stage optics / A.B. Meinel, M.P. Meinel //Optical Engineering. – 1992. – Vol. 31, No 11. – P. 2271–2279.
2. Артюхина Н.К., Котов М.Н. Заявка на выдачу патента РБ на изобретение «Зеркальный объектив» № А 20140275 – от 15.05.2014 г.
3. Артюхина, Н.К. Теория, методы проектирования и расчет зеркальных систем: монография / Н.К. Артюхина, БНТУ. – Минск, 2009. – 309 с.

зацию процессов проектирования в различных областях науки и техники. Компьютерное моделирование оптики – один из этапов технологии