

К вопросу коррекции кривизны изображения в четырехзеркальных объективах

Артюхина Н.К.

Белорусский национальный технический университет

В зеркальных системах большое внимание уделяется возможности исправления аберрации кривизны изображения. Известны отдельные случаи расчета зеркальных объективов и афокальных систем, имеющих плоскую поверхность изображения.

При систематизации результатов анализа различных типов и разновидностей зеркальных систем представляет практический интерес нахождения области конструктивных параметров, обеспечивающих планкоррекцию. Рассматриваются два класса зеркальных объективов [1], особенностью которых является то, что первое и четвертое зеркала можно выполнить в виде моноблока.

Коэффициент кривизны изображения III порядка при исправленном астигматизме определяется по формуле (все обозначения см. в литературе [2]):

$$D_0 = \frac{1}{2} \sum_{s=1}^4 \frac{\nu_s \alpha_{s+1} - \nu_{s+1} \alpha_s}{h_s}. \quad (1)$$

Для систем I и III типов с заданным коэффициентом центрального экранирования η уравнение (1) преобразовывается к виду:

$$2D_0 = A + \alpha_4 - 1, \quad (2)$$

где $A = \alpha_2 - \frac{\alpha_2 + \alpha_3}{h_2} + \frac{\alpha_4 + \alpha_3}{h_3}$, а для систем II и IV типов

$$2D_0 = A - (\alpha_4 + 1). \quad (3)$$

Величины α_2 и h_2 обычно задаются; они определяют продольные и поперечные габариты системы. Параметры α_3 и h_3 находят из следующих соотношений:

$$\alpha_3 = \frac{\eta h_2 - 1}{(d_2 - 1)\eta}; \quad h_3 = -\frac{\eta h_2 - d_2}{(d_2 - 1)\eta}. \quad (4)$$

Коэффициент D_0 зависит от α_2 и принимает бесконечно большое значение при $h_3 = 0$. Графическая зависимость $\alpha_2 = f(h_2)$ определяет граничную кривую конструктивных параметров перехода от систем I и II типа к III и IV типу.

В системах I типа коэффициент D_0 изменяется от $-\infty$ до $+\infty$ в области положительных значений α_2 , где существуют расчетные варианты зеркальных планобъективов. Для меньших поперечных габаритов ($h_2 < 4,0$), когда $\eta < 0,3$ коэффициент Петцваля равен нулю в области $\alpha_2 > 8,0$, при малой светосиле.

В системах III типа возможно получить плоское поле для средней светосилы и коэффициенте $\eta > 0,4$. Системы с исправленной кривизной изображения при малом коэффициенте экранирования ($\eta < 0,3$) существуют лишь при $h_2 > 5,0$.

Для систем II типа существуют расчетные варианты объективов с плоским полем при $\alpha_2 < 1,0$ для $\eta > 0,5$. В системах IV типа кривизна Петцваля исправлена при $\alpha_2 > 11,0$, т.е. при малом относительном отверстии.

Исследование формул (2-4) позволяет судить о форме третьего и четвертого зеркал. Третье зеркало может быть выпуклым и вогнутым. В системах I, III и IV типов четвертое зеркало всегда вогнутое; в системе III типа четвертое зеркало выпуклое, когда $h_3 > 2,0$, вогнутое при $h_3 < 2,0$.

В объективах II класса при $\alpha_3 = 0$, условие устранения кривизны для I разновидности

$$B - (\alpha_4 + 1) = 0, \quad (5)$$

где $B = \alpha_2 - \frac{\alpha_2 - \alpha_4}{h_2}$, а для II разновидности:

$$B + \alpha_4 - 1 = 0. \quad (6)$$

Задаваясь различными значениями угла α_2 , определяющего фокусное расстояние первого зеркала, и параметра h_2 , определяющего центральное экранирование, получаем различные схемные решения зеркальных систем. Практический интерес представляют системы II разновидности ($h_4 = 1,0$; $\alpha_5 = -1,0$). Область возможных решений для α_2 от 0 до $-\infty$. Исключение составляют лишь области $-1,5 < \alpha_2 < -0,5$ в системах с большим экранированием ($h_2 > 0,5$). В системах I разновидности ($h_4 = 1,0$) существуют конструктивные решения в пределах $-1,5 < \alpha_2 < -0,5$ для $h_2 > 0,3$.

При исследовании четырехзеркальных объективов II типа, имеющих плоскость промежуточного изображения между вторым и третьим зеркалом, учитывается дополнительный параметр δ (расстояние, определяющее положение этой плоскости относительно первого зеркала). Конструктивные параметры объективов II типа определяются по формулам:

$$\alpha_3 = \frac{h_2}{\delta - d_1}; \quad h_3 = -h_2 \alpha_3 \frac{\Delta - \delta + 1}{\alpha_3 + h_2}, \quad (7)$$

где Δ - толщина моноблока.

Проведен компьютерный расчет коэффициента D_0 при заданных величинах d_2, h_2 , и δ . Получено, что практический интерес представляют системы с плоским полем для $\eta = 0,5$, которые достаточно светосильны ($-1,2 < \alpha_2 < -0,8$).

Литература

1. Артюхина Н.К., Панько О.И. Классификация зеркальных анастигматов //НИРС-2003: Тез. докл. VIII Респуб. науч.-тех. конф.; Минск, 9-10 дек. 2003г./ Мин.обр.РБ. БНТУ.- Минск, 2003г.
2. Чуриловский В.Н. Теория хроматизма и аберраций третьего порядка. Л., "Машиностроение", 1968.