

СИНТЕЗ СИЛОВЫХ КОМПОНЕНТОВ ШИРОКОУГОЛЬНЫХ ОБЪЕКТИВОВ

© 2012 г. В. А. Безруков, канд. техн. наук; Г. В. Карпова, канд. техн. наук

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

E-mail: bezrukov@mail.ifmo.ru

Исследованы свойства телеконцентрической системы и предложена методика синтеза силовых компонентов широкоугольных объективов с использованием телеконцентрической системы.

Ключевые слова: широкоугольные объективы, телеконцентрическая система, силовые компоненты, абберации.

Коды OCIS: 080.2740, 080.3620, 220.1000.

Поступила в редакцию 09.11.2011.

Основной задачей при создании широкоугольного объектива является задача развития углового поля при заданной оптической силе объектива. Процесс разработки оптической системы начинается с синтеза силового компонента, который определяет оптическую силу системы. В соответствии с методом синтеза, предложенного М.М. Русиновым, необходимо наиболее полно использовать коррекционные возможности силовых компонентов для устранения главных полевых aberrаций – астигматизма и комы.

Рассмотрим один из вариантов компоновки силовых компонентов широкоугольных объективов с использованием телеконцентрической системы.

В соответствии с методом М.М. Русинова [1] силовые или базовые компоненты обозначаются буквой Б, а коррекционные компоненты – буквой К. При синтезе базовых и коррекционных компонентов мы будем использовать сферические поверхности, свободные от астигматизма и комы относительно главного луча, проходящего через центр поверхности или через ее апланатические точки. Такие поверхности обозначаются следующими буквами: а – апланатические поверхности, к – поверхности, concentричные зрачку, о – плоские поверхности.

Телеконцентрическая система – это афокальная или телескопическая система. Любую прямую, проходящую через общий центр concentрических поверхностей, можно рассматривать как новую ось такой системы. Поэтому вдоль

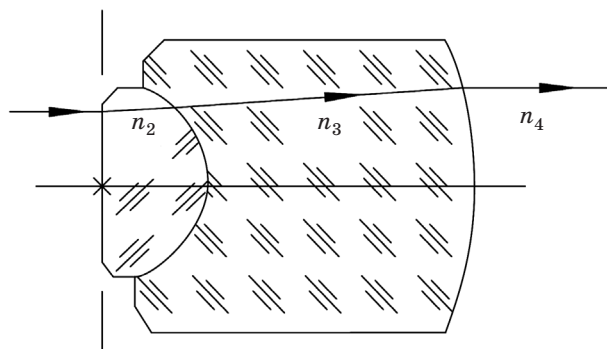
главного луча, как и вдоль оптической оси, в такой системе сохраняется строгая афокальность, что приводит к отсутствию кривизны поля. Одновременно concentрические системы при совмещении зрачка с общим центром поверхностей являются также системами анастигматическими, оптическая сила которых определяется выражением из работы [1]

$$\Phi = - \sum \frac{1/n_{k+1} - 1/n_k}{r_k}. \quad (1)$$

Применяя выражение (1) к рассматриваемой системе (рис. 1) и приравнивая его к нулю, получим условие образования телеконцентрической системы

$$\frac{r_3}{r_2} = \frac{1/n_3 - 1/n_4}{1/n_3 - 1/n_2}. \quad (2)$$

Толщина по оптической оси определяется из выражения $d = r_2 - r_3$.

Рис. 1. Телеконцентрическая система $T(o, \text{снк}, k)$.

Располагая перед первой концентрической поверхностью плоскую поверхность, образуем с учетом вышеприведенных выражений телеконцентрическую систему, состоящую из плоско-выпуклой линзы $B_T(\text{ок})$ и коррекционной концентрической линзы $K_T(\text{кк})$, входной зрачок которой располагается на плоскости раздела $n_1 - n_2$. По классификации М.М. Русинова полученную систему можно зашифровать в виде суммы

$$T(\text{о, снк, к}) = B_T(\text{ок}) + K_T(\text{кк}). \quad (3)$$

В силу концентричности обеих поверхностей главный луч после преломления на плоской поверхности войдет и выйдет по нормалям ко второй и первой поверхностям. Следствием этого будет отсутствие астигматизма и комы. В силу условия образования телеконцентрической системы вдоль главного луча, как и вдоль оптической оси, сохранится строгая афокальность, что приводит к отсутствию кривизны поля. Плоская поверхность телеконцентрической системы внесет хроматизм увеличения, величина которого в угловой мере может быть определена путем дифференцирования закона преломления по показателю преломления [1]

$$d\omega' = \left(\frac{n_1 - 1}{n_1 \nu_1} - \frac{n_2 - 1}{n_2 \nu_2} \right) \text{tg} \omega', \quad (4)$$

а условие устранения хроматизма увеличения будет иметь вид

$$\frac{n_1 - 1}{n_1 \nu_1} = \frac{n_2 - 1}{n_2 \nu_2}, \quad (5)$$

где ν_1 и ν_2 – коэффициенты дисперсий среды пространства предметов и материала линзы $B_T(\text{ок})$ соответственно. Угловое увеличение полученной системы равно

$$\gamma_t = \gamma = \frac{n_1}{n_2}, \quad (6)$$

то есть в телеконцентрической системе выполняется условие синусов Аббе, которое, как известно [1], несовместимо с условием ортоскопии. Поэтому телеконцентрическая система будет обладать дисторсией, рассчитываемой по известной формуле

$$\Delta = \frac{\cos \omega}{\cos \omega'} - 1, \quad (7)$$

где ω и ω' – углы главного луча с оптической осью в пространстве предметов и после преломления на плоской поверхности линзы $B_T(\text{ок})$.

Используя телеконцентрическую систему совместно с силовым элементом $B_T(\text{ок})$ и располагая входной зрачок на плоскости раздела $n_1 - n_2$, образуем оптическую систему вида $T(\text{о, снк, к}) + B(\text{ок})$, свободную от астигматизма и комы, в которой соблюдается условие постоянства сферической аберрации по угловому полю.

Угловое увеличение полученной системы определяется из выражения

$$\gamma = \frac{n_1}{n_2 n_5}, \quad (8)$$

где n_5 – показатель преломления материала линзы $B(\text{ок})$.

При контакте линз системы $T(\text{о, снк, к})$ образуется поверхность нормальной концентрической склейки, (снк) определяющая большую положительную сферическую аберрацию всей системы.

Одним из коррекционных элементов, служащих для исправления сферической аберрации, является тонкий концентрический воздушный промежуток [1]. Создавая воздушный концентрический промежуток в телеконцентрической системе от поверхности концентрической нормальной склейки, можно активно влиять на аберрации третьего и высших порядков. Это позволяет достичь исправления сферической аберрации на краю отверстия. Использование этого приема ограничено величиной воздушного промежутка, что обусловлено возможностью непрохождения крайних лучей широкого наклонного пучка. Поэтому целесообразно использовать этот прием совместно с уменьшением толщины концентрической линзы $K_T(\text{кк})$ при сохранении последнего ее радиуса концентричным.

В обоих случаях первая поверхность базового элемента $B(\text{ок})$ уже не будет плоской, и должна быть заменена на апланатическую поверхность для главного луча, относительно которого ведется исходная компоновка, т. е. линза $B(\text{ок})$ становится линзой $B(\text{ак})$.

Применение обоих приемов для исправления сферической аберрации приводит к оптическим системам силовых компонентов широкоугольных объективов вида $K(\text{о, снк, к}) + B(\text{ак})$ и $B(\text{ок}) + K(\text{кк}) + B(\text{ак})$, которые свободны от астигматизма, комы и сферической аберрации.

Полученные системы и графики аберраций представлены на рис. 2 и 3. Основные оптические характеристики представленных систем

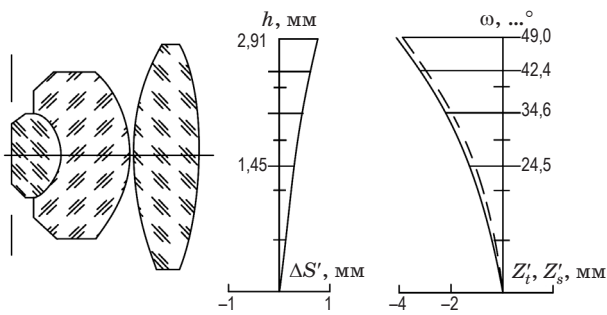


Рис. 2. Базовый компонент К(о, снк, к) + Б(ак).

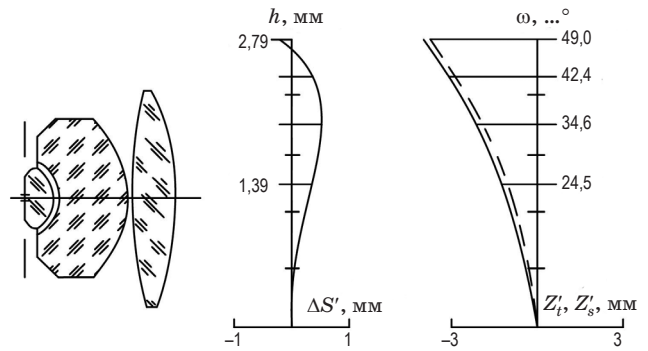


Рис. 3. Базовый компонент Б(ок) + К(кк) + Б(ак).

имеют следующие значения: фокусное расстояние 29 мм, угловое поле в пространстве предметов 98 угл. градусов и относительное отверстие 1:4.

Изложенная методика позволяет синтезировать силовые компоненты широкоугольных объективов, свободных от астигматизма, комы и сферической aberrации.

* * * * *

ЛИТЕРАТУРА

1. Русинов М.М. Техническая оптика. Л.: Машиностроение, 1979. 488 с.