

А. А. ШЕХОНИН. С. А. РОДИОНОВ

СИНТЕЗ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ЗАДАНЫМИ СВОЙСТВАМИ ИЗ ИЗОПЛАНАТИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ЭВМ

Графоаналитическая методика составления изопланатических систем из апланатических и концентрических зрачку преломляющих поверхностей, предложенная М. М. Русиновым, оказалась достаточно эффективной при создании определенных типов оптических конструкций [1,2].

Однако построение системы «вручную» связано с довольно длительными вычислениями. При этом конструктору трудно выдержать значения таких характеристик, как апертура, увеличение, задний отрезок, положения зрачков, а также добиться малости aberrаций.

При разработке метода автоматического синтеза системы, отвечающей поставленным требованиям, из так называемых изопланатических поверхностей, были приняты следующие типы поверхностей: а) апланатическая; б) концентрическая зрачку; в) концентрическая предмету. Кроме того, к названным типам добавляется поверхность, кривизна которой задается конструктором.

В работе [3] были получены удобные для применения на ЭВМ формулы для кривизн изопланатических поверхностей и позволяющие производить набор системы по главному и нулевым лучам. Однако конструкция, набранная только по главному лучу, может не обеспечивать заданную апертуру и более того, aberrации, например, для осевой точки могут быть значительными. Поэтому при компоновке системы представляется необходимым дополнительный расчет апертурного луча.

При синтезе конструкции по действительным лучам может встретиться случай непрохождения лучей через поверхность или возникнуть ситуация, когда построение апланатической поверхности невозможно. Система, составленная из поверхностей, может не обладать заданными параксиальными характеристиками. Aberrации такой системы могут быть значительными. Вместе с тем накладываются дополнительные условия, например, условия конструктивной выполнимости, специальные условия и др.

Все перечисленные условия составляют список ограничений (граничных условий) в виде системы неравенств, которым должна удовлетворять искомая оптическая система. Нормировка функций к допуску на нарушение условия позволяет привести все неравенства к виду:

$$F(X) > -1 \quad (1)$$

где F – вектор функций ограничений, а X – вектор параметров

Решение задачи синтеза системы с заданными свойствами из изопланатических поверхностей сводится, следовательно, к поиску в нормированном n -мерном пространстве параметров X точки, удовлетворяющей системе из m -неравенств (1).

В качестве свободных параметров, образующих вектор X , могут использоваться: расстояние между поверхностями, положение апертурной диафрагмы, положение входного зрачка, кривизны поверхностей которые задаются конструктором, и коэффициенты пропорциональности, т. е. числа, на которые умножаются или делятся параметры первой (до диафрагмы) и второй (после диафрагмы) частей системы. С целью взвешивания отдельных параметров в процессе поиска все они нормируются, т. е. делятся на некоторые масштабы.

Поиск необходимой точки в пространстве параметров является итерационным процессом, на каждом шаге которого определяется минимум (нулевой) суммы квадратов (метод штрафных функций):

$$\varphi = \sum_{i=1}^r f_i^2 = F^T F \quad (2)$$

где T – индекс транспонирования, а r – число отрицательных функций.

Решение выражения (2) находится при помощи демпфированного метода наименьших квадратов и имеет вид:

$$\Delta X(S) = [M + P(S)I]^{-1} N \quad (3)$$

где $M = A^T A$; $N = -A^T F_0$, I – единичная матрица; F_0 – значение вектора функций ограничений в точке x_0 ; A – матрица производных системы функций; $P(S)$ – функция, показывающая зависимость демпфера P от длины шага S .

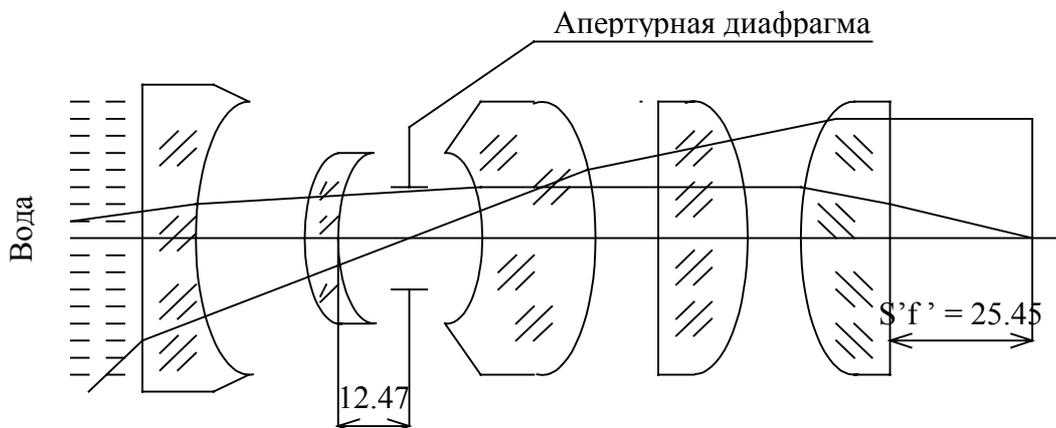
Важным моментом, делающим метод синтеза наиболее универсальным, является введение в список граничных условий прохождения лучей и построения апланатической поверхности. При этом для ускорения сходимости итерационного процесса эти условия приводятся к возможно более линейной зависимости от параметров и соответствующим образом нормируются [4].

Наибольшая эффективность процесса синтеза системы с заданными характеристиками, как показали исследования, достигается при разделении его на три этапа. На первом этапе в вектор функций ограничений включаются только условия прохождения лучей и построения апланатических поверхностей, На втором этапе добавляются условия конструктивности, специальные условия, «условия заданных значений заднего отрезка и увеличения. На третьем этапе, восстановлению подлежат нарушенные абберационные условия.

В качестве примера, иллюстрирующего эффективность метода автоматического синтеза системы, может быть представлена система, схема и конструктивные параметры которой представлены на рисунке. Исходными данными для компоновки являются типы поверхностей, начальные расстояния между ними, показатели преломления.

В полученном объективе продольная сферическая абберация для апертурного луча составляет 0,08 мм, астигматизм по главному лучу для $\beta = 30^\circ$ отсутствует, средняя кривизна изображения по этому лучу равна 0,1 м,

дисторсия порядка 10%. Время синтеза требуемой системы около 5 мин машинного времени (ЭВМ «Минск-22М»).



$$2\beta_{\text{возд}} = 60^{\circ}, D = f'_0 = 1:2.5, f'_0 = 13.62$$

$r_1 = \infty$	$d_1 = 3.14$	$n_1 = 1.3330$	Апланатическая
$r_2 = 31.261$	$d_2 = 16.60$	$n_2 = 1.6126$	Концентрическая зрачку
$r_3 = 14.667$	$d_3 = 2.20$	$n_3 = 1.0$	Концентрическая зрачку
$r_4 = 12.467$	$d_4 = 18.47$	$n_4 = 1.6126$	Концентрическая зрачку
$r_5 = -26.234$	$d_5 = 12.68$	$n_5 = 1.0$	Апланатическая
$r_6 = -21.395$	$d_6 = 2.11$	$n_6 = 1.6126$	Концентрическая зрачку
$r_7 = -264.37$	$d_7 = 8.26$	$n_7 = 1.0$	Апланатическая
$r_8 = -44.991$	$d_8 = 0.20$	$n_8 = 1.6126$	Концентрическая зрачку
$r_9 = 37.438$	$d_9 = 11.35$	$n_9 = 1.0$	Апланатическая
$r_{10} = 1138.28$		$n_{10} = 1.8060$	Концентрическая зрачку
		$n_{11} = 1.0$	

Литература

1. Русинов М. М. Техническая оптика. М., - Л., Машгиз, 1961.
2. Курчинская Л. И. Особенности расчета светосильных и широкоугольных объективов с использованием концентрических и апланатических поверхностей. Автореферат диссертации. Л., ЛИТМО, 1971.
3. Шехонин А. А. Об автоматизации составления оптических систем из изопланатических поверхностей. Сб. научных трудов аспирантов. Л., ЛИТМО, 1974.
4. Родионов С. А., Пржевальский Л. И., Шехонин А. А. Алгоритм определения габаритов пучков в программах расчета лучей через оптическую систему, Труды ЛИТМО «Расчет и конструирование оптических систем», вып. 75, 1974.