

# $f\theta$ ОБЪЕКТИВ: $f=287$ мм, $\pm 30^\circ$ , СПОТ=25 мкм

П. Калло

Институт точной механики и оптики Будапештский политехнический университет

Н-1521 Будапешт,

Поступило 10 марта 1988 г.

Представлено проф. д-ром О. Петрик

## Abstract

Presentation of the final results of the design of an  $f\theta$  objective composed of three lenses for optical scanning and its qualification by comparison to similar category lenses known from publications.

## Введение

С применением лазерного пучка в практике стало возможным решение оптического сканирования. Для обеспечения оптического сканирования помимо лазерного пучка необходимо наличие вращающегося зеркального полигона, а также так называемого  $f\theta$  объектива.  $f\theta$  объектив является обратным телеобъективом (ретрофокус-объектив), в котором вращающийся зеркальный полигон, находящийся в апертурной диафрагме, которая совпадает с входным зрачком, пускает непрерывно изменяющийся лазерный пучок, составляющий с оптической осью максимальный угол  $\pm \theta$ .

В дальнейшем будем заниматься  $f\theta$  объективом оптической сканирующей системы.

Основные требования к  $f\theta$  объективу:

- идеальная высота изображения;
- размер пятна рассеивания относящегося к идеальной точке изображения, спот= минимальный;
- геометрическое виньетирование.

Из-за наличия остаточных аберраций:

- на высоту изображения действует линейная дисторсия;
- на пятно рассеивания, относящееся к идеальной точке изображения, влияет распостраненная спот-диаграмма;
- обеспечение отсутствия геометрического виньетирования достигается линзами достаточно большого диаметра.

## I. Спецификация

Намечаем проектирование такого  $f\theta$  объектива, который имеет:

фокусное расстояние	$f=287$ мм
угол сканирования	$\theta = \pm 30^\circ$
(т. е. полная высота изображения)	$2H' = 300$ мм)
линейная дисторсия	$ \Delta T'_{\text{lin}}  < 0,1\%$
максимальный размер пятна рассеивания, относящегося к идеальной точке изображения во всем поле изображения	spot <sub>max</sub> = 40 мкм
геометрическое виньетирование (при лазерном пучке $\varnothing 8$ мм)	$V_g = 0$
расстояние входного зрачка от первой поверхности	$d_{BP} \geq 45$ мм
рабочая длина волны	$\lambda = 632,8$ нм

## 2. Результаты исследования специальной литературы

Полученные данные  $f\theta$  объективов, более-менее соответствующих вышеуказанным требованиям приведены в таблице № 1.

Таблица № 1

Источник	$f$ мм	$\theta$ [°]	$\Delta T'_{\text{lin}}$ %	spot мкм	$d_{BP}$ мм	Кол. линз [шт.]	Цена в долл. США
Melles Griot	287	$\pm 30$	—	35	38	3	—
D. O. Industries							
tip. 4817	251	$\pm 27$	0,2	60	24	3	800
tip. 4813	321	$\pm 29$	0,3	70	23	3	800
Olympus, US Pat 4, 436, 383	287	$\pm 30$	0,1	27	45	4	—

Из числа приведенных в таблице  $f\theta$  объективов, — в связи с характером патентного описания — о последнем опубликовано наибольшее количество данных, которые можно использовать в исходной стадии проектирования. Патентное описание № 4, 436, 383 защищает  $f\theta$  объектив, состоящий из 4-х линз +, -, +, +, в котором

— абсолютное значение фокусного расстояния первой конденсорной линзы по отношению к фокусным расстояниям остальных линз несоразмерно большое, а далее, возникающая опасность деформации вследствие маленького значения толщины в середине отрицательно может воздействовать на качество изображения,

— при угле сканирования относящемся к 30, 21, 10 и 0°, обеспечивается пятно рассеивания размером соответственно не более 27, 27, 12 и 2 мкм.

Нашей целью является проектирование  $f\theta$  объектива, состоящего из трёх линз, который отвечает спецификационным требованиям, приведенных в п. 1.

### 3. Проектирование $f\theta$ объектива и его важнейшие свойства

$f\theta$  объектив с построением  $- , + , +$  был проектирован традиционным методом. В ходе проектирования в отличие от принятого провели вычисления большего масштаба в области тригонометрических коррекций, чем в ходе выравнивания ошибок изображения, основанного на приблизительных расчётах третьего порядка. Наибольшие затруднения возникли при минимализации значения комы и линейной дисторсии. Полученный в результате расчётов  $f\theta$  объектив удовлетворяет спецификации, приведенной в п. 1. Значение линейной дисторсии в зависимости от угла сканирования приведены в таблице № 2.

Важнейшие допуски параметров линз (а также воздушных прослоек между ними) приводятся в таблице № 3.

Таблица № 2

$\theta$ [ ]°	$\Delta T'_{lin}$ %	spot <sub>max</sub> МКМ
30	—0,03	11
21	0,12	25
10	0,06	17
0	0,00	2

Таблица № 3

Данные	Допуски		
	1. линза	2. линза	3. линза
Диаметры, мм		0 —0,01	
Толщина, мм	±0,1	±0,15	±0,2
Толщина воздушной прослойки, мм		0,05 0	0,1 0
Радиусы, ‰	1	2	3
Качество поверхности, кольца Ньютона	2/0,2	2/0,2	2/0,2

#### 4. Выводы

Контрольные измерения образцов  $f\theta$  объектива, описанного в п. 1 и охарактеризованного заданными в п. 3 качеством изображения и допусками, подтвердили результаты расчётов. На основании этого можно сделать вывод, что на базе отечественной технологии (без максимального использования имеющихся резервов достижения наибольшей производственной точности) успешно разработан объектив, линзы которого оцениваются на мировом рынке в 200—300 долларов/шт.

#### Резюме

Приведены конечные результаты проектирования  $f\theta$  объектива, состоящего из трёх линз и который необходимо использовать к оптическому сканированию, а также производится его оценка путем сравнения с объективами подобной категории, хорошо известными из литературы.

Dr. Péter KALLÓ H-1521 Budapest