

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ ЗРАЧКА НА ФУНКЦИЮ ПЕРЕДАЧИ КОНТРАСТА ПРИ ОСТАТОЧНОЙ ВОЛНОВОЙ АБЕРРАЦИИ В ИЗОБРАЖЕНИИ ТОЧКИ

© 2013 К. В. Ежова, канд. техн. наук; Е. В. Ермолаева, канд. техн. наук;
В. А. Зверев, докт. техн. наук

НИУ ИТМО, Санкт-Петербург

E-mail: post_vaz@rambler.ru

С использованием методов числового моделирования показано, что при остаточной волновой aberrации, превышающей три четверти длины волны ($W \geq 0,75\lambda$), путем экранирования центральной зоны зрачка при значении коэффициента экранирования $k_0 \approx 0,5$ удается повысить контраст изображения.

Ключевые слова: зеркальная система, волновая aberrация, экранирование зрачка, контраст изображения.

Коды OCIS: 080.1005, 080.4035, 110.4100.

Поступила в редакцию 11.07.2013.

Важным параметром зеркальных и зеркально-линзовых оптических систем является коэффициент центрального экранирования зрачка. Принято считать [1], что если волновая aberrация изображения удовлетворяет критерию Рэлея (не превышает $0,25\lambda$), то коэффициент экранирования k_0 не должен превышать 0,3. Однако во многих случаях нет необходимости в безабберационном изображении, но требуется достаточно высокая его освещенность, а следовательно, высокая светосила применяемой оптической системы. При этом волновая aberrация изображения может существенно превышать критерий Рэлея. Можно предположить, что в этом случае характер влияния центрального экранирования на качество изображения будет отличаться от характера влияния при отсутствии aberrаций. Для исследования этого явления применим оптическую систему, состоящую из отражающей поверхности сферической формы. Для определенности в знаках углов и отрезков дополним сферическое зеркало плоским. Пусть фокусное расстояние такой системы $f' = 1000$ мм и пусть при волновой aberrации, равной нулю на краю зрачка,

ее экстремальное значение на зоне зрачка равно $W = 2,5\lambda$. Тогда, используя в качестве коррекционных параметров диаметр входного зрачка и смещение плоскости наилучшей установки, получаем оптическую систему, конструктивные параметры которой представлены в табл. 1, а остаточные aberrации – в табл. 2.¹

Изменяя в масштабе конструктивные параметры системы, получаем требуемое значение волновой aberrации на зоне зрачка при сохранении условий формирования изображения. Нулевая волновая aberrация в гауссовом изо-

Таблица 1. Конструктивные параметры параметрической модели исходной оптической системы

N , номер поверхности	r , мм	d , мм	n
			1,00
1	-2000	-500	-1
2	∞	64,45	1,00

¹ Расчеты выполнялись с помощью программы SAPO.

Таблица 2. Остаточные aberrации изображения, образованного исходной оптической системой

S_0	Z_0	$Z'_0(0)$	$S'_0(0)$	$F'(0)$	$VЗР(0)$	$S'A$
	0	-500,0	500,00	1000,0	1,000	499,17
$MU = 0$	H	$ДС'(0)$	TGC'	$Y(0)$	$W(0)$	$ЭТА\%$
	115	-0,828	0,115	-0,0956	0,113e-5	0,331
	99,5	-0,414	0,0998	-0,0413	1.88	0,248
	81,2	0,323e-3	0,0814	-0,279e-4	2.5	0,165
	57,5	0,414	0,0575	0,0238	1.87	0,0826

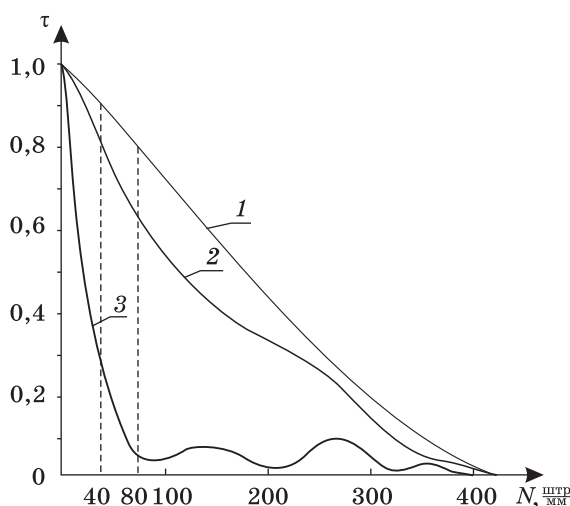


Рис. 1. Зависимости ФПМ изображения от пространственной частоты при трех значениях волновой aberrации 1 - $W = 0$, 2 - $W = 0,25\lambda$, 3 - $W = 1,00\lambda$.

бражении точки достигается путем замены сферической поверхности отражающим параболоидом вращения.

На рис. 1 приведены зависимости функции передачи модуляции (ФПМ) изображения τ от пространственной частоты при различных значениях волновой aberrации. Анализируя вид кривой 3, можно считать, что при $W = 1,00\lambda$ предельное разрешение соответствует пространственной частоте $N = 80$ штр/мм.

На рис. 2 представлены зависимости ФПМ изображения от коэффициента центрального экранирования зрачка при различных значениях волновой aberrации и при пространственной частоте изображения $N = 40$ (а) и $N = 80$ штр/мм (б). Из вида кривых следует, что ФПМ изображения при волновой aberrации $W = 0,50\lambda$ и изменении коэффициента экранирования в диапазоне $0 \leq k_0 \leq 0,5$ при частоте $N = 40$ лин/мм уменьшается приблизительно на 14%, а при частоте $N = 80$ штр/мм - остается практически неизменной. При волновой aberrации $W = 0,75\lambda$ при изменении коэффи-

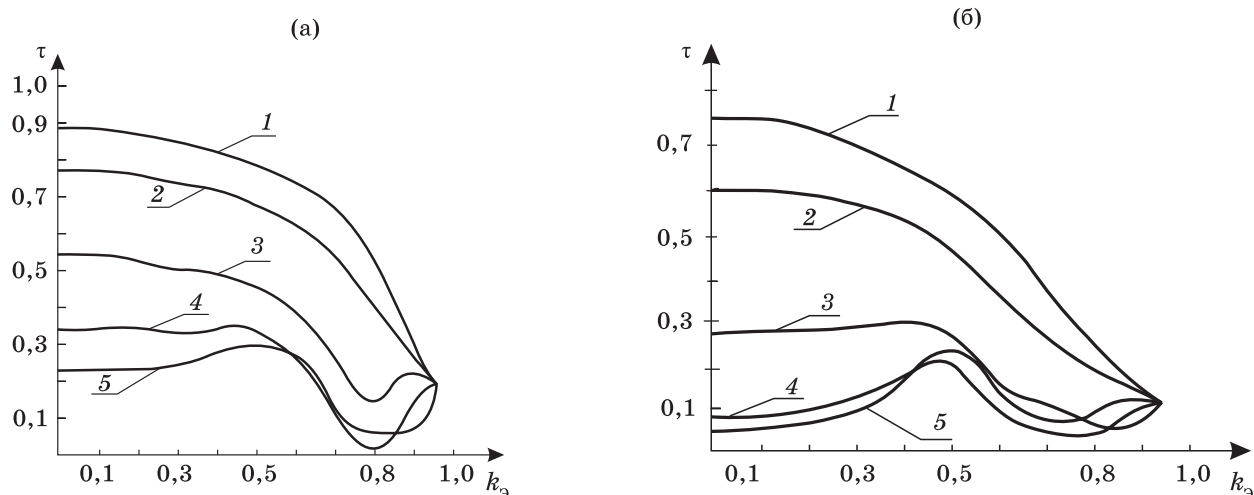


Рис. 2. Зависимости ФПМ изображения от коэффициента центрального экранирования зрачка по диаметру при различных значениях волновой aberrации и пространственных частотах 40 штр/мм (а) и 80 штр/мм (б). 1 - $W = 0$, 2 - $W = 0,25\lambda$, 3 - $W = 1,00\lambda$, 4 - $0,75\lambda$, 5 - $1,00\lambda$.

циента экранирования в том же диапазоне ФПМ изображения при частоте $N = 40$ штр/мм остается практически неизменной и равной $0,34$, а при $N = 80$ штр/мм при начальном значении $\tau = 0,08$ – увеличивается в $2,5$ раза. При остаточной волновой аберрации $W \geq 1,00\lambda$ и изменении коэффициента экранирования в диапазоне $0 \leq k_3 \leq 0,5$ ФПМ изображения при частоте

$N = 40$ штр/мм и начальном значении $\tau = 0,23$ становится равной $0,30$, а при $N = 80$ штр/мм и начальном значении $\tau = 0,04$ – увеличивается в 6 раз. Из анализа результатов выполненных вычислений следует, что при остаточной волновой аберрации $W \geq 0,75\lambda$ экранирование центральной зоны зрачка при $k_3 \approx 0,5$ повышает контраст изображения.

* * * * *

ЛИТЕРАТУРА

1. Михельсон Н.Н. Оптические телескопы. Теория и конструкция. М.: Наука, 1976. 512 с.
-