

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зверев В. А., Хлусова Н. И. Применение плоскопараллельной пластинки для исправления сферической абберации // ОМП. 1972. № 9. С. 24—25.
2. Чуриловский В. Н. Теория хроматизма и аббераций третьего порядка. Л.: Машиностроение, 1968. 312 с.
3. Зверев В. А. Основы геометрической оптики: Учеб. пособие. СПб: СПбГИТМО (ТУ), 2002. 218 с.
4. Слюсарев Г. Г. Методы расчета оптических систем. Л.: Машиностроение, 1969. 672 с.

*Сведения об авторах***Виктор Алексеевич Зверев**

— д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра прикладной и компьютерной оптики;
E-mail: post_vaz@rambler.ru

Галина Васильевна Карпова

— канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра прикладной и компьютерной оптики

Ирина Николаевна Тимощук

— канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра компьютеризации и проектирования оптических приборов; E-mail: tim_ir@rambler.ru

Рекомендована кафедрой
прикладной и компьютерной оптики

Поступила в редакцию
07.02.13 г.

УДК 535.317

Е. В. ЕРМОЛАЕВА, В. А. ЗВЕРЕВ, И. Н. ТИМОЩУК

ВОЛНОВАЯ АБЕРРАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ ТОЧКИ ПРИ ЦЕНТРАЛЬНОМ ЭКРАНИРОВАНИИ ВХОДНОГО ЗРАЧКА

Определены условия, при которых волновая абберация изображения точки для крайних лучей на входном зрачке оптической системы и для лучей на границе экранируемой части пучка равна нулю, что позволяет заметно уменьшить остаточную волновую абберацию изображения точки.

Ключевые слова: волновая абберация, изображение точки, выходной зрачок, центральное экранирование.

Волновая абберация Φ изображения точки при известной продольной сферической абберации $\Delta s'$ и продольном смещении Δ' плоскости установки изображения с приемлемой точностью определяется выражением [1]

$$\Phi = \int_0^{\sigma'} \Delta s' \sin \sigma' \cdot d\sigma' - (1 - \cos \sigma') \Delta'.$$

На рис. 1 показано сечение меридиональной плоскостью сферы сравнения, проходящей через осевую точку P' и крайнюю точку Q' волнового фронта. Вполне очевидно, что волновая абберация в плоскости сечения заметно уменьшится, если кривую сечения поверхности сравнения провести через крайнюю точку волнового фронта и крайнюю точку Q_3' его экранируемой части. В этом случае радиус кривизны окружности сечения становится равным R_3' . При этом для определения волновой абберации используем точное выражение [2]

$$\Phi = \frac{(\delta g' - \Delta' \operatorname{tg} \sigma')^2}{R'_3} \cos^2 \sigma' + \int_0^{\sigma'} \delta g' d(\sin \sigma') - (1 - \cos \sigma') \Delta' . \quad (1)$$

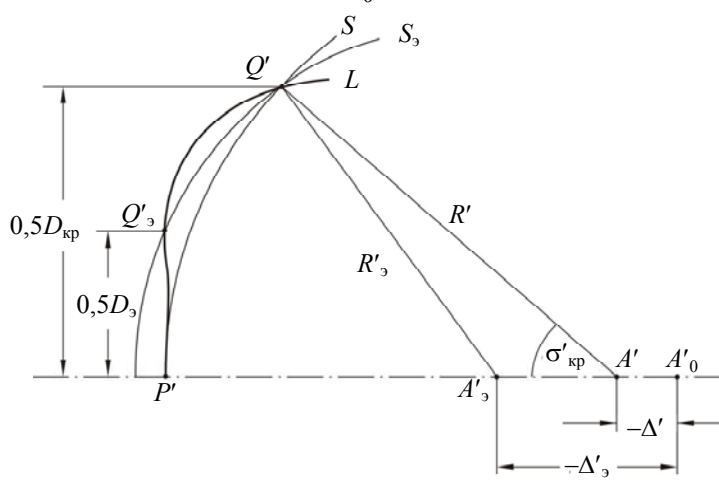


Рис. 1

Итак, в рассматриваемом случае при $\sigma' = \sigma'_{кр}$ волновая aberrация $\Phi = \Phi(\sigma'_{кр}) = 0$ и при $\sigma' = \sigma'_3$ — $\Phi = \Phi(\sigma'_3) = 0$; смещение $\Delta'_{кр} = \Delta'_3$. Тогда, как следует из выражения (1), имеем

$$\frac{(\delta g'_{кр} \cos \sigma'_{кр} - \Delta'_3 \sin \sigma'_{кр})^2}{\int_0^{\sigma'_{кр}} \delta g' d(\sin \sigma'_{кр}) - (1 - \cos \sigma'_{кр}) \Delta'_3} = \frac{(\delta g'_3 \cos \sigma'_3 - \Delta'_3 \sin \sigma'_3)^2}{\int_0^{\sigma'_3} \delta g' d(\sin \sigma'_3) - (1 - \cos \sigma'_3) \Delta'_3} .$$

Решая это уравнение, находим величину Δ'_3 . При этом

$$R'_3 = \frac{(\delta g'_{кр} - \Delta'_3 \operatorname{tg} \sigma'_{кр})^2 \cos^2 \sigma'_{кр}}{(1 - \cos \sigma'_{кр}) \Delta'_3 - \int_0^{\sigma'_{кр}} \delta g' d(\sin \sigma'_{кр})} = \frac{(\delta g'_3 - \Delta'_3 \operatorname{tg} \sigma'_3)^2}{(1 - \cos \sigma'_3) \Delta'_3 - \int_0^{\sigma'_3} \delta g' d(\sin \sigma'_3)} . \quad (2)$$

Поперечная aberrация $\delta g' = \frac{d\Phi}{d(\sin \sigma')} \approx \frac{d\Phi}{d\sigma'}$. Возможный вид кривой зависимости $\delta g' = \delta g'(\sigma')$ представлен на рис. 2, а. Величина остаточной поперечной aberrации изображения осевой точки определяется как

$$\delta g' = \delta g'_0 + \delta g'_{\Delta'} ,$$

где $\delta g'_0$ — поперечная aberrация изображения в плоскости Гаусса; $\delta g'_{\Delta'} = \Delta' \operatorname{tg} \sigma'$ — расфокусировка изображения, вызванная продольным смещением плоскости установки изображения относительно плоскости Гаусса; при этом $\Delta' = \frac{\delta g'_{\Delta'}}{\operatorname{tg} \sigma'}$, в соответствии с рис. 2, а $\Delta' = \operatorname{tg} \psi$.

С приемлемой точностью принято считать, что волновая aberrация определяется суммированием площадей, ограниченных кривой $\delta g'_0 = \delta g'_0(\sigma')$ и прямой $\delta g'_{\Delta'} \approx \Delta' \sigma'$, т.е. определяется интегралом

$$\int (\delta g'_0 + \delta g'_{\Delta'}) d(\sin \sigma') \approx \int (\delta g'_0 + \delta g'_{\Delta'}) d\sigma' .$$

При центральном экранировании входного зрачка экранируемая часть осевого пучка лучей в образовании изображения не участвует, поэтому волновую aberrацию этой части пучка лучей можно считать равной нулю. Равной нулю будет и волновая aberrация в крайней точке экранируемой части волнового фронта. При этом линия, определяющая смещение плоскости установки изображения, образует угол ψ_3 ; в рассматриваемом случае $|\psi_3| > |\psi|$, как показано на рис. 2, б. Волновая aberrация изображения в интервале значений $(\sigma'_3, \sigma'_{кр})$ должна принять экстремальное значение: $\Phi = \Phi_{extr}$. При $\sigma' = \sigma'_{extr}$ поперечная aberrация $\delta g' = 0$.

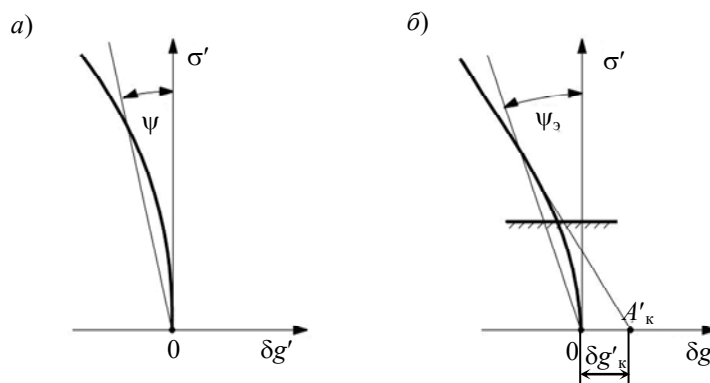


Рис. 2

Линия, проведенная вблизи неэкранируемой части кривой $\delta g'_0 = \delta g'_0(\sigma')$ таким образом, чтобы абсолютные отклонения кривой относительно линии были минимальны, пересекает ось $0-\delta g'$ в некоторой точке $A'_к$. При этом отклонения кривой от рассматриваемой линии определяют отклонение множества точек пересечения лучей с плоскостью установки изображения относительно точки, смещенной относительно оптической оси на расстояние, равное отрезку $\delta g'_к = 0A'_к$. Осевая симметрия рассматриваемого пучка лучей определяет множество точек поперечной aberrации, образующее окружность, радиус которой равен $\delta g'_к$. При этом пятно рассеяния в изображении точки будет иметь вид кольцевой полосы, ширина которой определяется размахом отклонений поперечной aberrации $\delta g'_0$ относительно линии.

Для „сжатия“ кольцевой полосы в одно осевое пятно можно применить пластинку, одна из поверхностей которой плоская, а другая имеет форму конической поверхности вращения, поместив ее во входном зрачке оптической системы в параллельных пучках лучей. Примером такой системы может служить сферическая отражающая поверхность с осевой точкой входного зрачка в центре кривизны поверхности. Малой „деформацией“ линейной образующей конуса можно компенсировать остаточную сферическую aberrацию изображения точки.

Заметим, что линию можно провести таким образом, чтобы она пересекала кривую $\delta g'_0 = \delta g'_0(\sigma')$ в двух точках, что позволит получить волновую aberrацию равной нулю в трех точках волнового фронта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чуриловский В. Н. Теория оптических приборов. М. — Л.: Машиностроение, 1966. 564 с.
2. Пуряев Д. Т. Методы контроля оптических асферических поверхностей. М.: Машиностроение, 1976. 262 с.

Сведения об авторах

Елена Владимировна Ермолаева — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра прикладной и компьютерной оптики;
E-mail: ermolena@yandex.ru

Виктор Алексеевич Зверев

— д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра прикладной и компьютерной оптики; E-mail: post_vaz@rambler.ru

Ирина Николаевна Тимошук

— канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра компьютеризации и проектирования оптических приборов; E-mail: tim_ir@rambler.ru

Рекомендована кафедрой
прикладной и компьютерной оптики

Поступила в редакцию
07.02.13 г.

УДК 535.317.6

Е. В. ЕРМОЛАЕВА, В. А. ЗВЕРЕВ, Ю. А. ПОДГОРНЫХ
**ВАРИАНТЫ ЗЕРКАЛЬНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ
С ГЛАВНЫМ ЗЕРКАЛОМ СФЕРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ**

Рассматриваются варианты зеркальных систем, построенных на основе применения афокальной системы из двух отражающих поверхностей с использованием преобразования систем Грегори и Кассегрена.

Ключевые слова: *зеркальная система, отражающая поверхность, афокальная система.*

Входным зрачком крупногабаритных телескопов, как правило, является оправа главного зеркала, форма отражающей поверхности которого, исходя из соображений практической реализации при существующем уровне технологии изготовления, должна быть сферической. Как показано в работе [1], афокальная система, состоящая из главного зеркала сферической формы и вторичного зеркала, поверхность которого эквидистантна параболоиду, формирует строго стигматичное изображение осевой точки при достаточно большом отступлении от условия синусов. Для эффективной компенсации этого отступления с помощью последующей зеркальной системы афокальная система, предложенная Д. Т. Пуряевым [1], должна быть кеплеровского типа [2], т.е. иметь промежуточное изображение, как показано на рис. 1.

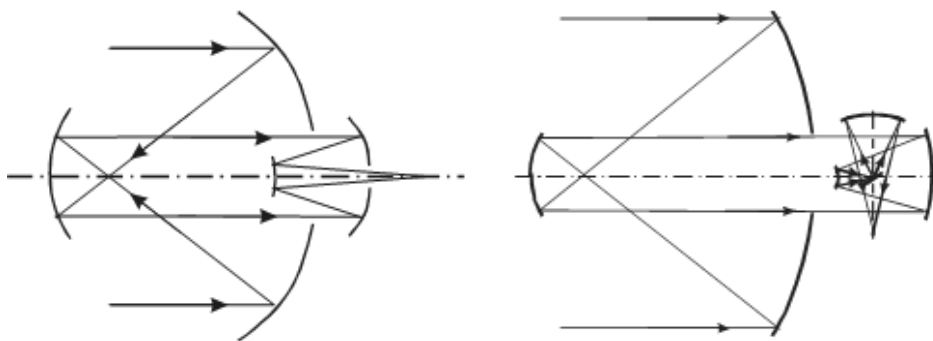


Рис. 1

Проф. М. М. Русиновым было установлено, что если изображение, образованное объективом Грегори, расположить в плоскости, проходящей через вершину отражающей поверхности главного зеркала, то изображение этого зеркала будет сформировано вторичным зеркалом в плоскости промежуточного изображения, образованного отражающей поверхностью главного зеркала [3, 4]. Если при этом отражающую поверхность главного зеркала принять в качестве входного зрачка объектива, то его изображение в плоскости промежуточного изо-