

Неинтерференционный метод контроля качества выпуклых асферических зеркал большого диаметра

10, октябрь 2011

Малиновская Е. Г., Батшев В. И.

УДК 681.7.08

МГТУ им. Н.Э. Баумана

malelgen@mail.ru

batshev.vlad@gmail.com

Одной из основных проблем создания крупных телескопов является обеспечение высокого качества изображения, что в свою очередь требует разработки высококачественных методов измерения и контроля формы асферических зеркал. Наиболее сложной является проблема контроля выпуклых поверхностей [1]. Попытка ее решения стандартными методами приводит к необходимости использования вспомогательных оптических элементов, диаметры которых существенно превышают диаметр самой контролируемой поверхности (КП).

Одним из примеров этого является контроль выпуклых гиперболических поверхностей с помощью сферы Хиндла [2] (рис.1). В этом случае диаметр эталонной поверхности (Э) существенно превышает диаметр КП.

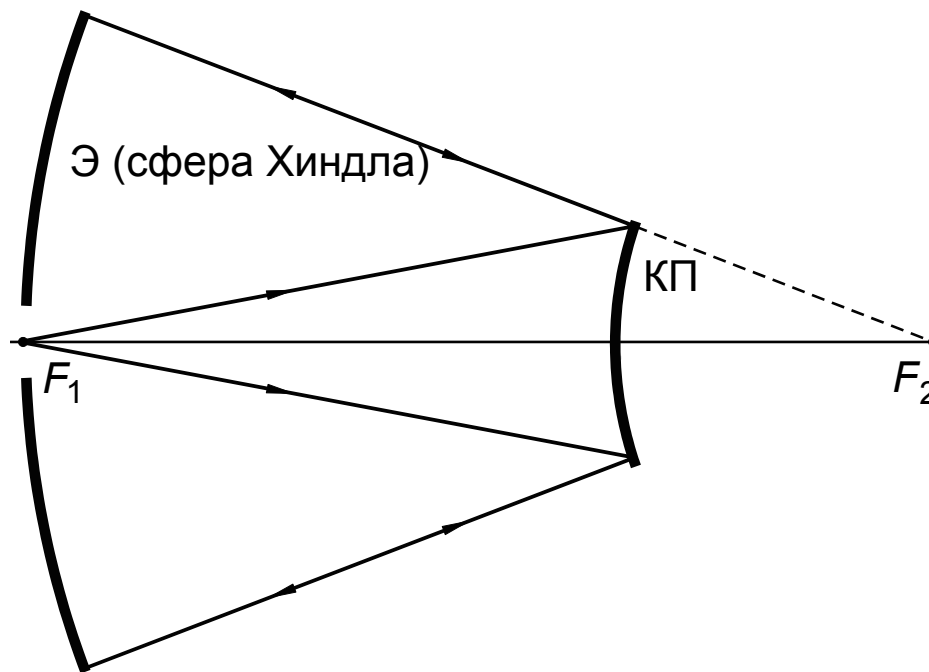


Рис. 1. Схема контроля выпуклых гиперболических поверхностей с использованием сферы Хиндла

Попытка решения этой проблемы привела к созданию так называемой схемы ортогональных лучей [3,4], согласно которой освещение контролируемой детали производится пучком параллельных лучей, ориентированных перпендикулярно оси симметрии детали (рис. 2).

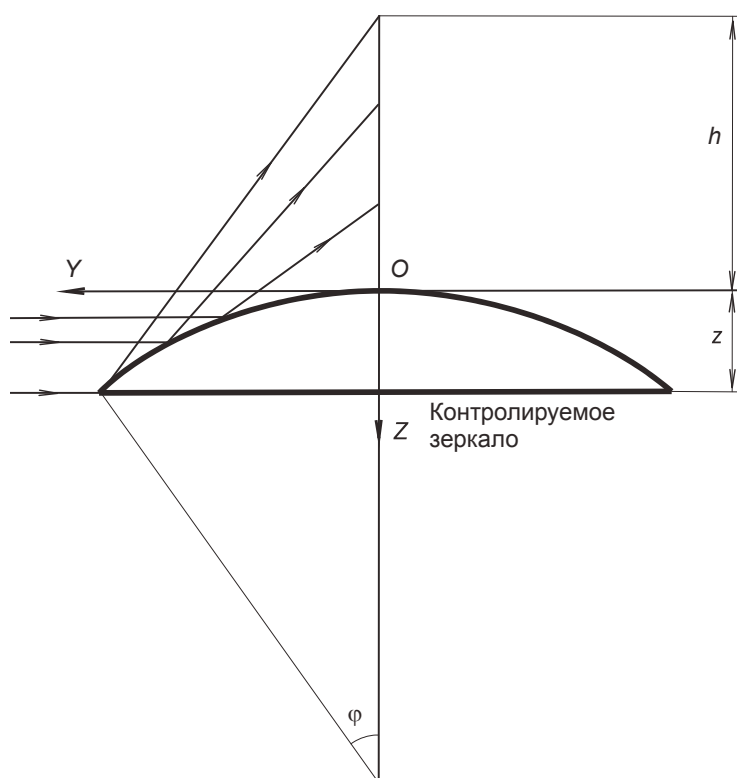


Рис. 2. Схема ортогональных лучей

Структура отраженного пучка несет в себе информацию о форме КП. Сущность контроля заключается в применении линзового растра (рис.3) для определения структуры светового пучка, отраженного от КП [5]. Каждый элемент растра представляет собой плоско-выпуклую линзу, центр кривизны сферической поверхности которой совпадает с плоской поверхностью.

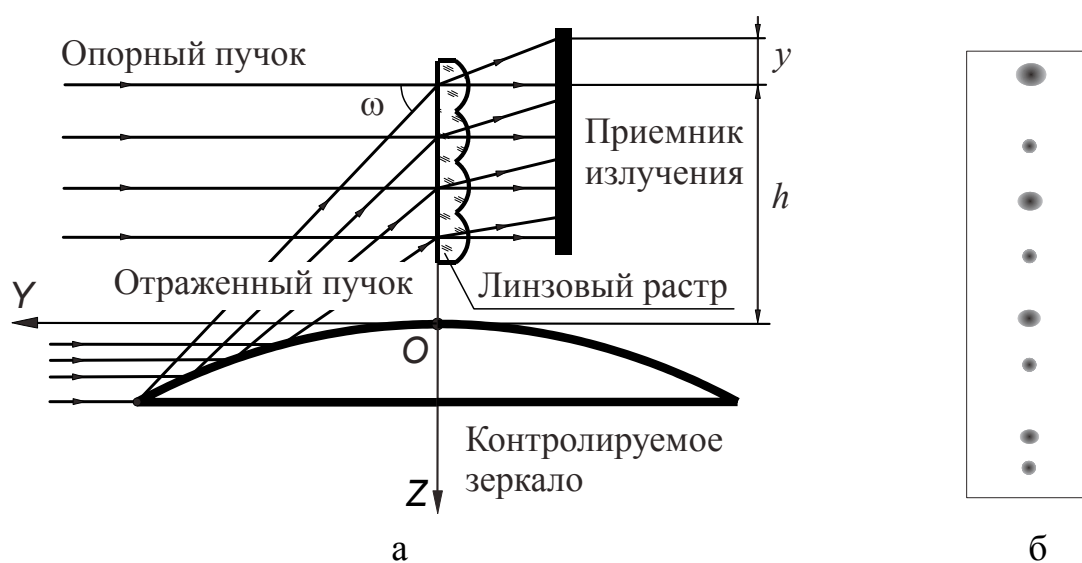


Рис. 3. К пояснению метода измерения и контроля формы выпуклых зеркал с использованием линзового растра: а – оптическая система; б – вид регистрируемого изображения

В процессе измерения при перемещении растра вдоль оси OZ определяются высоты h_i опорного пучка и расстояния y_i между центрами световых пятен, образованных опорным и отраженным световыми пучками (рис.3). Зная конструктивные параметры линзового растра и расстояния y_i , можно определить углы ω_i между лучами опорного и отраженного пучков, а значит и углы наклона нормалей φ_i (т.к. $\omega_i = 2\varphi_i$).

$$\sin 2\varphi_i = \sin \omega_i = n \cdot \sin(\arctg(y_i/s)), \quad (1)$$

где n – показатель преломления линзы; s – расстояние от плоской поверхности линзового растра до приемника излучения.

Путем аппроксимации определяется функция $h(\varphi)$.

Профиль КП представляет собой сумму двух кривых: профиля АП второго порядка ближайшей к КП и величин местных погрешностей, т.е. отступлений КП от ближайшей АП (рис. 2). Параметрическое уравнение профиля КП имеет вид:

$$\begin{cases} Z_{КП}(\varphi) = Z_{АП}(\varphi) + \Delta Z(\varphi), \\ Y_{КП}(\varphi) = Y_{АП}(\varphi) + \Delta Y(\varphi). \end{cases} \quad (2)$$

Таким образом, для получения уравнения профиля КП необходимо решить две задачи:

- 1) определить геометрические параметры АП второго порядка, ближайшей к КП;
- 2) найти величины местных погрешностей.

Пусть $R_{КП}$ и $k_{КП}$ – реальные геометрические параметры КП, а $R_{АП}$ и $k_{АП}$ – геометрические параметры произвольной АП второго порядка.



Рис. 4. Реальный и теоретический профили контролируемой поверхности

Теоретическая функция $h_{АП}(\varphi)$ для АП второго порядка, имеет вид:

$$h_{АП}(\varphi, R_{АП}, k_{АП}) = Y_{АП}(R_{АП}, k_{АП}) \cdot \operatorname{tg}(2\varphi) - Z_{АП}(R_{АП}, k_{АП}). \quad (3)$$

Зная эту зависимость и измеренную функцию $h_{КП}(\varphi)$ для КП, методом наименьших квадратов определяются геометрические параметры КП такие, чтобы теоретическая АП второго порядка была как можно ближе к КП:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial R} \sum_{i=0}^N [h(R_{АП}, k_{АП}, Z_{АП}) - h_{КП}]^2 = 0, \\ \frac{\partial}{\partial k} \sum_{i=0}^N [h(R_{АП}, k_{АП}, Z_{АП}) - h_{КП}]^2 = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Наличие местных погрешностей формы КП вносит вклад в результат определение геометрических параметров. На рис. 5 а. показана КП с местной погрешностью в виде «бугра», а на рис. 5 б. – в виде «ямы».

При определении геометрических параметров ближайшей АП по формуле (4), получим геометрические параметры АП, отличающиеся от геометрических параметров КП. Для уменьшения влияния местных погрешностей вводится пороговое значение $\Delta h_{\text{пор}}$ величины отклонения местных погрешностей. При $\Delta h > \Delta h_{\text{пор}}$ принимается $\Delta h = \Delta h_{\text{пор}}$.

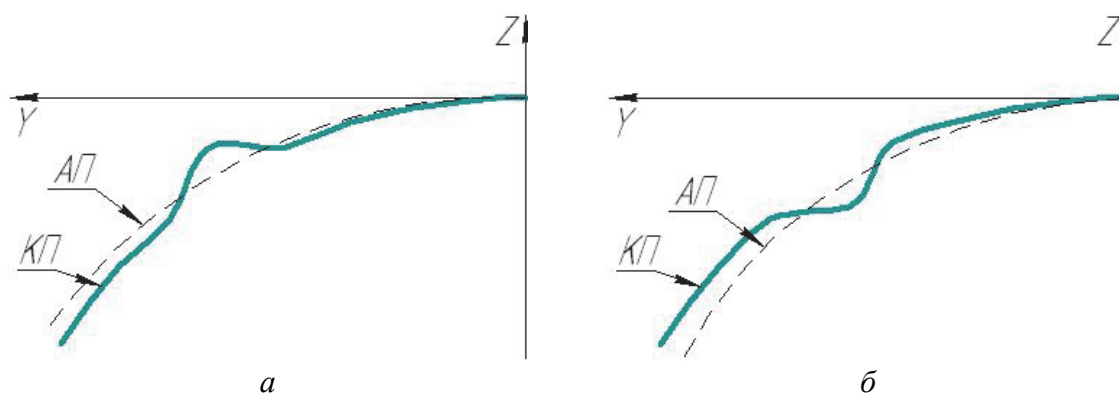


Рис. 5. Виды погрешностей формы КП: а – «бугор»; б – «яма»

Для определения местных погрешностей формы КП получено параметрическое уравнение:

$$\begin{cases} \Delta Z(\varphi) = \operatorname{ctg} \varphi \int_0^{\varphi} [\Delta h'(\phi)(\sin 2\phi - \operatorname{tg} \phi) - \Delta h(\phi) / \cos^2 2\phi] d\phi, \\ \Delta Y(\varphi) = [\Delta h(\varphi) + \Delta Z(\varphi)] \operatorname{ctg} 2\varphi, \end{cases} \quad (5)$$

в котором величина $\Delta h(\varphi)$ равна разности между измеренными высотами и высотами опорных пучков для АП с реальными значениями геометрических параметров, но без местных погрешностей.

Таким образом с помощью уравнений (4) и (5) можно получить профиль исследуемой поверхности.

Литература

1. Максutow Д.Д. Изготовление и исследование астрономической оптики (Изд. 2-е). М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. 272 с.
2. Пуpьев Д.Т. Методы контроля оптических асферических поверхностей. М.: Машиностроение, 1976. 262 с.
3. Goncharov A.V., Druzhin V.V., Batshev V.I. Non-contact methods for optical testing of convex aspheric mirrors for future large telescopes // Proc. SPIE. 2009. Vol. 7389. 7 p.
4. Способ измерения профиля оптических поверхностей: а.с. 1044969 СССР, МКИ4G01BII/24./Д.Т. Пуpьев (СССР). №3467407. 25 – 28; Заявлено 09.07.82; Опубликовано 30.09.83, Бюлл. №36. 3с.
5. Дружин В.В., Батшев В.И., Пуpьев Д.Т. Измерение и контроль профиля светосильных выпуклых асферических зеркал на базе лазерного устройства с линзовым растром // Лазеры в науке, технике, медицине: Сб. научных трудов. – Москва, 2009. – Т. 20. – с. 109 – 111.

Non-interferometric method for optical testing of large convex aspherical mirrors

10, October 2011

Malinovskaya E.G., Batshev V.I

malelgen@mail.ru
batshev.vlad@gmail.com

The main problem with manufacturing of large convex mirrors is in their optical testing that requires high-precision optical components with diameters exceeding the testing mirror. To avoid this problem there is a side illumination scheme, in which a narrow collimated beam propagates normal to the axis of the testing mirror. Wavefront reflected from the mirror contains information about its shape. Non-interferometric wavefront sensor is developed for analysis of the reflected beam. The method of definition of testing mirror profile is described.

Publications with keywords: [control](#), [aspherical mirror](#), [geometrical parameters](#), [local defects of form](#)

Publications with words: [control](#), [aspherical mirror](#), [geometrical parameters](#), [local defects of form](#)

Literatura

1. Maksutov D.D. Izgotovlenie i issledovanie astronomicheskoi optiki (Izd. 2-e). M.: Nauka. Glavnaya redakciya fiziko-matematicheskoi literatury, 1984. 272 s.
2. Puryaev D.T. Metody kontrolya opticheskikh asfericheskikh poverhnostei. M.: Mashinostroenie, 1976. 262 s.
3. Goncharov A.V., Druzhin V.V., Batshev V.I. Non-contact methods for optical testing of convex aspheric mirrors for future large telescopes // Proc. SPIE. 2009. Vol. 7389. 7 p.
4. Sposob izmereniya profilya opticheskikh poverhnostei: a.s. 1044969 SSSR, MKI4G01VII/24./D.T. Puryaev (SSSR). №3467407. 25 – 28; Zayavleno 09.07.82; Opublikovano 30.09.83, Byull. №36. 3s.
5. Drujin V.V., Batshev V.I., Puryaev D.T. Izmerenie i kontrol' profilya svetosil'nykh vypuklykh asfericheskikh zerkal na baze lazernogo ustroystva s linzovym rastrom // Lazery v nauke, tehnike, medicine: Sb. nauchnykh trudov. – Moskva, 2009. – T. 20. – s. 109 – 111.