

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛАВНОГО ЗЕРКАЛА БТА В ОБСЕРВАТОРИИ

Канд. наук В. А. ЗВЕРЕВ, канд. наук С. А. РОДИОНОВ, канд. наук М. Н. СОКОЛЬСКИЙ,
В.В. УСОКИН

Описан контроль главного зеркала БТА методом Гартмана в условиях обсерватории. Приведены результаты контроля на одном из этапов установки зеркала в телескопе.

При исследовании и аттестации качества поверхности главного зеркала БТА в условиях его работы в телескопе интерференционный метод практически неприменим и можно пользоваться только теневым методом и методом Гартмана. Из-за трудности обработки теневой картины с целью получения количественной информации о форме поверхности зеркал основным методом контроля был принят метод Гартмана с машинной обработкой результатов, описанной в статье [1]. Преимущество метода Гартмана перед другими способами контроля зеркала в телескопе – возможность при длительной экспозиции усреднить влияние атмосферы на положение каждого пятна гартманогаммы и тем самым практически полностью исключить искажение волнового фронта, вызванное турбулентностью атмосферы, из результатов исследования деформации поверхности зеркала.

Исследование зеркала методом Гартмана производилось следующим образом. На верхнем срезе трубы телескопа устанавливалась та же диафрагма, которая применялась для технологического контроля зеркала. В качестве источника была выбрана звезда третьей звездной величины. Пластина помещалась в кассету первичного фокуса на расстоянии ~ 160 мм за ним, т. е. делался зафокальный снимок. Экспозиция составляла 2 мин при использовании пластинок изопанхром чувствительностью 130 ед. Размер гартманогаммы составлял примерно 40 мм.

Из сравнения этой гартманогаммы (рис. 1) с технологической гартманогаммой [2] видно, что наличие атмосферы привело к размытию пятен. Однако точность измерения координат центров этих пятен из-за размытия практически не уменьшилась.

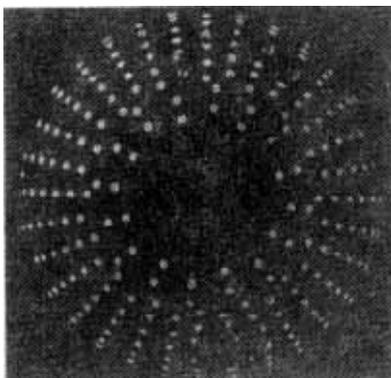


Рис.1 Вид гартманогаммы

Измерение координат гартманогаммы и математическая обработка данных на ЭВМ производились в основном таким же образом и по той же

системе программ, что и при технологическом контроле из центра кривизны. Изменения математического аппарата были вызваны изменением формулы, связывающей поперечные aberrации с координатами точек на диафрагме и гартманогамме. В статье [1] был дан вывод этой формулы для контроля из центра кривизны.

Рассмотрим контроль в телескопе, когда источник света (звезда) находится в бесконечности, а пластинка с гартманогаммой помещается вблизи фокальной плоскости (рис. 2). Пусть \vec{R} – вектор координат центров отверстий в диафрагме в системе X, Y, Z , начало которой помещено в центр зеркала, а ось X направлена по оси зеркала; \vec{R}' – вектор координат центра соответствующего пятна на пластинке (гартманогамме) в системе координат X', Y', Z' , ось X' которой совпадает с осью зеркала, а оси Y' и Z' параллельны осям системы X, Y, Z ; $\Delta\vec{R}'$ – вектор поперечных aberrаций в фокальной плоскости зеркала для луча, проходящего через точку с координатами \vec{R} на диафрагме:

$$\vec{R} = \begin{pmatrix} Y \\ Z \end{pmatrix}, \vec{R}' = \begin{pmatrix} Y' \\ Z' \end{pmatrix}, \Delta\vec{R}' = \begin{pmatrix} \Delta Y' \\ \Delta Z' \end{pmatrix}.$$

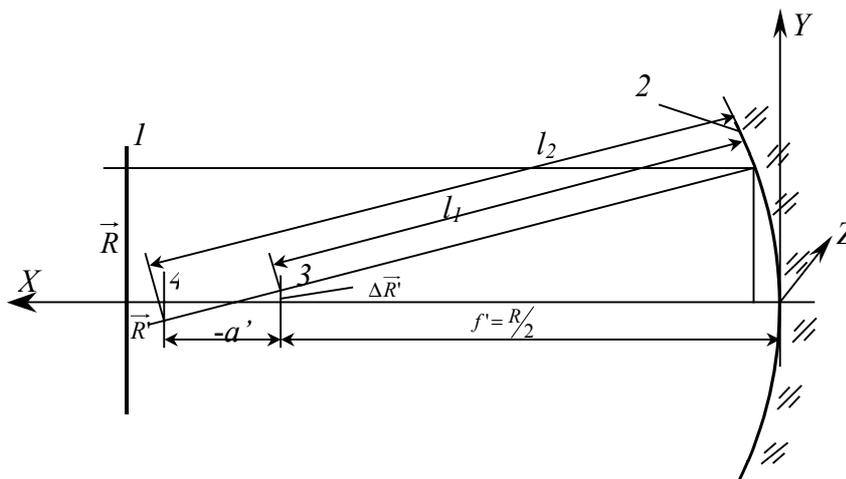


Рис.2 Оптическая схема контроля зеркала: 1-диафрагма Гартмана, 2-поверхность зеркала, 3-фокальная плоскость, 4-фотопластина

Из рис.2 легко получить векторные равенства

$$\begin{aligned} (f'-x)\vec{i} + \vec{R} + l_1\vec{Q} &= \Delta\vec{R}', \\ (f'-x-Q')\vec{i} + \vec{R} + l_2\vec{Q} &= \vec{R}', \end{aligned} \tag{1}$$

где \vec{i} – орт оси X ; $f' = \frac{R_0}{2}$ – фокусное расстояние зеркала; \vec{Q} – орт луча; R_0 – радиус при вершине. Из уравнения параболы следует

$$X = \frac{y^2 + z^2}{2R_0} = \frac{R_0}{2R_0}.$$

Исключая из равенства (1) l_1, l_2, \vec{Q} , получаем

$$\Delta \bar{R}' = \bar{R}' \left(1 + \frac{a'}{f'-x-a'} \right) - \bar{R} \frac{a'}{f'-x-a'}$$

Пренебрегая величиной a' по сравнению с $f'-x$, что дает относительную погрешность $\sim 0,01$, получаем

$$\Delta \bar{R}' = \bar{R}' - \bar{R} \frac{2a'}{R_0 \left(1 - \frac{R^2}{R_0^2} \right)}$$

или

$$\Delta y' = y' - y \frac{2a'}{R_0 \left(1 - \frac{y^2 + z^2}{R_0^2} \right)} \approx y' - y \left[\frac{2a'}{R_0} + \frac{2a'}{R_0^3} (y^2 + z^2) \right],$$

$$\Delta z' = z' - z \frac{2a'}{R_0 \left(1 - \frac{y^2 + z^2}{R_0^2} \right)} \approx z' - z \left[\frac{2a'}{R_0} + \frac{2a'}{R_0^3} (y^2 + z^2) \right]. \quad (2)$$

Сравнивая эти выражения с формулами (5) из [1], полученными для контроля из центра кривизны (при $a=a'$), видим, что они отличаются только множителем $\frac{2a'}{R_0}$ у второго члена; таким образом, (2) можно представить в виде

$$\Delta y' = y' - y \left[b_1 + b_3 (y^2 + z^2) \right], \quad b_1 = \frac{2a'}{R_0};$$

$$\Delta z' = z' - z \left[b_1 + b_3 (y^2 + z^2) \right], \quad b_3 = \frac{2a'}{R_0^3}. \quad (3)$$

Выражения (3) при математической обработке данных заменяют соответствующие выражения (5), приведенные в статье [1] для контроля из центра кривизны. Производные от поперечных aberrаций $\Delta y', \Delta z'$ по параметрам a', c_y, c_z , необходимые для реализации метода наименьших квадратов [1], легко находится:

$$\frac{\partial \Delta y'}{\partial a'} = -\frac{2y}{R_0} \left(1 + \frac{y^2 + z^2}{R_0^2} \right),$$

$$\frac{\partial \Delta z'}{\partial a'} = -\frac{2z}{R_0} \left(1 + \frac{y^2 + z^2}{R_0^2} \right),$$

$$\frac{\partial \Delta y'}{\partial c_y} = -\frac{2a'}{R_0} \left(1 + \frac{3y^2 + z^2}{R_0^2} \right),$$

$$\frac{\partial \Delta y'}{\partial c_z} = -\frac{4a' yz}{R_0^3},$$

$$\frac{\partial \Delta z'}{\partial c_y} = -\frac{4a' yz}{R_0^3},$$

$$\frac{\partial \Delta y'}{\partial c_y} = -\frac{2a'}{R_0} \left(1 + \frac{3y^2 + z^2}{R_0^2} \right),$$

Производные по остальным параметрам совпадают с приведенными в статье [1].

Пример результатов контроля на одном из первых этапов установки зеркала в оправе в телескопе приведен на рис.3. При сравнении результатов расчета с данными [2] следует учесть, что карта на рис.3 развернута зеркально из-за конструктивных особенностей крепления диафрагмы в телескопе.

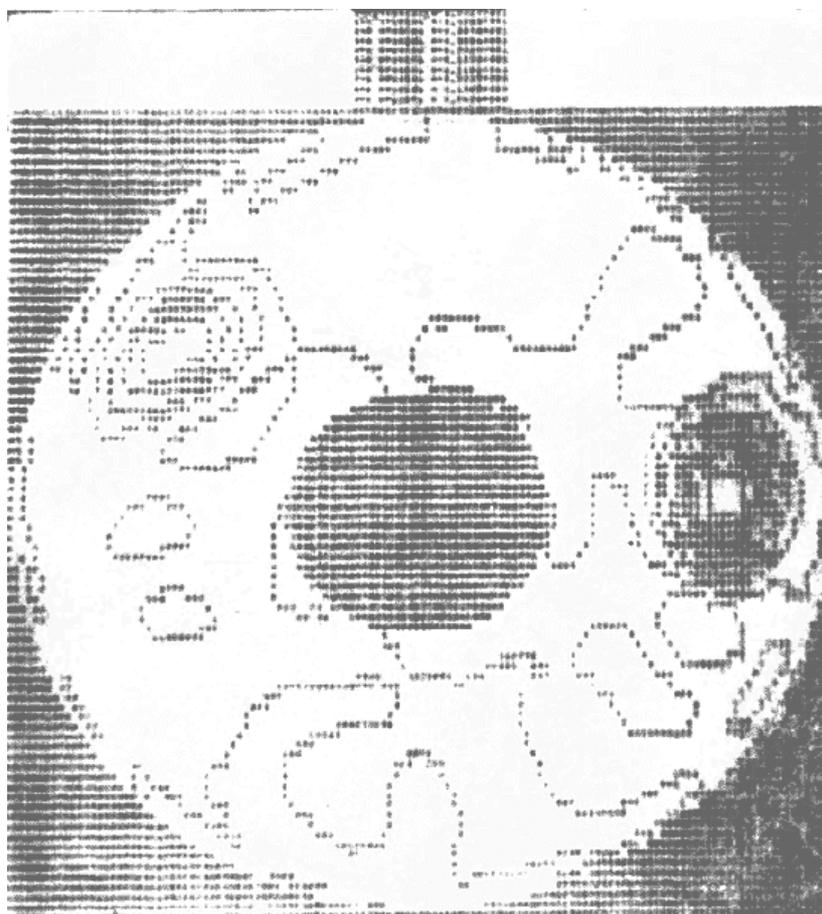


Рис.3 Результаты расчета по методу Гартмана

ЛИТЕРАТУРА

1. Зверев. В.А и др. – «ОМП», 1977, № 2, с. 18.
2. Зверев. В.А и др. – «ОМП», 1977, № 3, с. 3.