

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ГЛАВНОГО ЗЕРКАЛА БТА МЕТОДОМ ГАРТМАНА

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

В процессе полировки главного зеркала БТА производился периодический технологический контроль с целью получения сведений об отклонении поверхности от номинала и о концентрации энергии в пятне рассеяния. Первые данные необходимы для управления процессом полировки, вторые – для суждения о качестве поверхности в соответствии с принятым для астрономических зеркал критерием.

До недавнего времени оценка отклонения поверхности от номинала осуществлялась главным образом теневым методом Фуко-Максутова [1]. С появлением высококогерентных источников – лазеров стало возможным применение интерферометрических методов в схеме с неравноплечим интерферометром. Оба метода, особенно теневой, отличаются простотой получения картины и дают наглядное представление о деформации поверхности. Однако теневой метод не позволяет непосредственно получить качественные данные о форме поверхности, оба эти метода без сложной математической обработки не дают информации о распределении освещенности в пятне рассеяния и о концентрации энергии, поэтому для получения такой информации используют другие методы, например фотометрические. В принципе машинная математическая обработка тенеграмм или интерферограмм, дающая полную информацию о поверхности зеркала и структуре изображения, возможна, но существенным препятствием для ее реализации является сложность, недискретный характер и большое количество информации, подлежащей вводу в машину.

Существенный недостаток перечисленных методов – необходимость применения корректора для компенсации сферической аберрации, вносимой зеркалом при работе из центра кривизны. Хотя расчет таких корректоров не представляет проблемы, требования к точности их изготовления и юстировки крайне жесткие, а самостоятельная проверка и аттестация, позволяющая учесть вносимые погрешностями изготовления и юстировки аберраций, весьма затруднительна. Кроме того, большая часть корректоров обладает значительным хроматизмом, поэтому требуется строгая монохроматизация источника при использовании теневых и фотометрических методов и перестройка корректора в случае перехода, например, с длины волны лазерного излучения при интерферометрировании к длине волны ртутной лампы при теневом методе.

От многих отмеченных недостатков свободен метод Гартмана [2]. Он не требует применения корректора, практически не нуждается в юстировке. Первичная информация, получаемая с помощью этого метода, представляет собой совокупность чисел – координат точек на пластинке-гартманограмме – и легко может быть введена в ЭВМ для последующей математической обработки,

в результате которой можно судить о форме поверхности зеркала, концентрации энергии и т. д. Математический аппарат машинной обработки гартмановского теста изложен в статье [3]. Результаты машинной обработки дают необходимую информацию в количественном и наглядном виде.

Все эти достоинства способствовали тому, что метод Гартмана стал основным технологическим и аттестационным методом контроля при полировке и ретуши главного зеркала БТА. Недостатками метода являются, во-первых, невысокая пространственная «разрешающая способность», не обеспечивающая возможности обнаружения деформаций поверхности, по размерам существенно меньших расстояния между отверстиями диафрагмы, а во-вторых, малая наглядность первичной информации, не позволяющая без машинной обработки иметь какие-либо суждения о поверхности зеркала и в принципе требующая аттестации метода для исключения ошибок в математическом аппарате и машинной программе. Поэтому цикл контроля зеркала включал в себя такие методы, как теневой, интерференционный и Гартмана; время от времени производилось также фотометрирование пятна рассеяния для оценки распределения энергии и изофотометрирование для получения данных о распределении освещенности в пятне. Результаты всех методов сопоставлялись, что обеспечивало полную гарантию отсутствия ошибок.

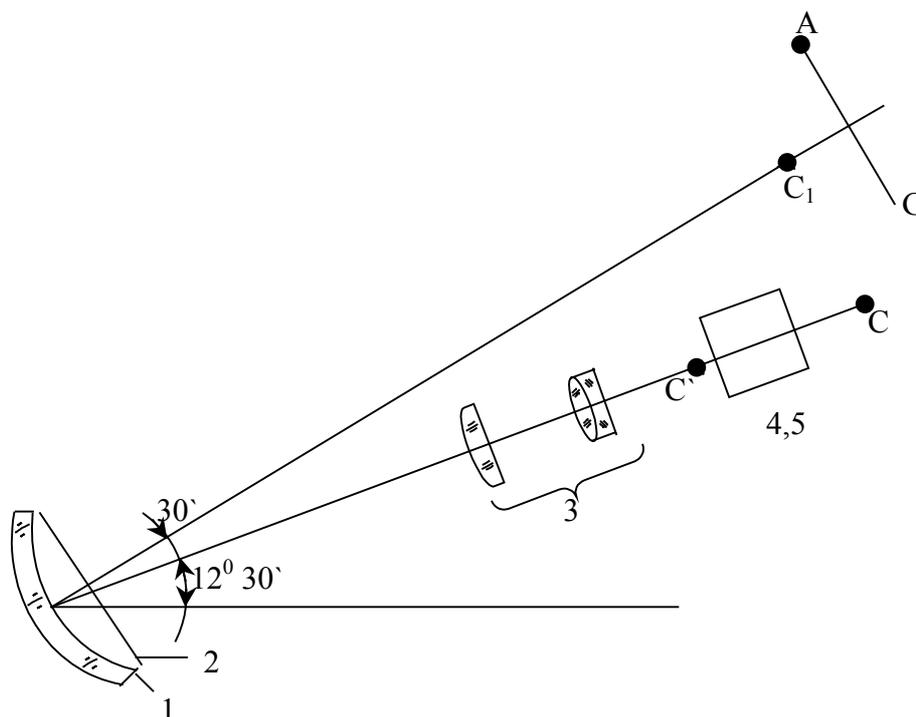


Рис. 1.1 Оптическая схема контроля главного зеркала БТА

Схема контроля зеркала показана на рис. 1.1. Зеркало 1 радиусом при вершине 48000 мм, диаметром 6000 мм устанавливалось под углом к горизонту для обеспечения наилучшего приближения к реальным условиям работы разгрузочных устройств. При положении зеркала под углом $12^{\circ}30'$ производился контроль теневым и интерферометрическим методами в

автоколлимационной схеме с линзовым корректором 3, установленным между зеркалом и центром кривизны С. Теневой прибор 4 или неравноплечий интерферометр 5 помещался вблизи изображения корректором центра кривизны. Так как установка и юстировка корректора чрезвычайно трудоемки, отъюстированный корректор постоянно находился на своем месте и только периодически проверялась его юстировка. Поэтому для контроля по методу Гартмана без корректора зеркало устанавливалось под углом 13° таким образом, что корректор выходил из габаритов пучка и центр кривизны зеркала занимал положение С1. На расстоянии около 300 мм за центром кривизны С1 помещался точечный источник А диаметром 0,01 мм и рядом с ним – кассета с фотопластинкой 6. Источник и пластинка были смещены в поперечном направлении от оси зеркала на 25 мм в противоположные стороны.

На зеркало накладывалась диафрагма 2, представляющая собой экран с 225 отверстиями (рис. 1.2) диаметром 130 мм. Контрольная точка К на диафрагме служила для ориентации снимка при обработке. Диафрагма центрировалась относительно центра зеркала с точностью 5 мм. Расстояние от диафрагмы до края зеркала $t \approx 30\text{мм}$.

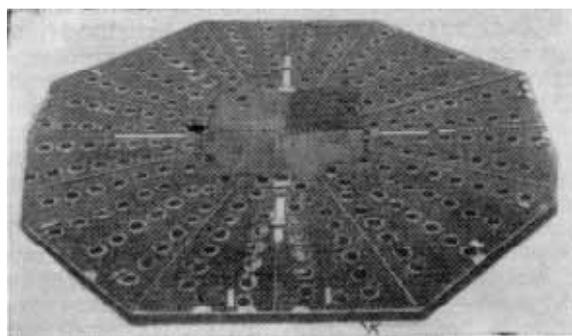


Рис. 1.2 Общий вид диафрагмы Гартмана

На фотопластинке образуется система пятен – гартманограмма (рис. 1.3). Размеры картины $2h' \approx 50 \div 60\text{мм}$. Как видно из сказанного, для получения гартманограммы был выбран зафокальный снимок, имеющий более благоприятную структуру пятен с центральным максимумом, повышающим точность наводки на центр пятна при измерении координат.

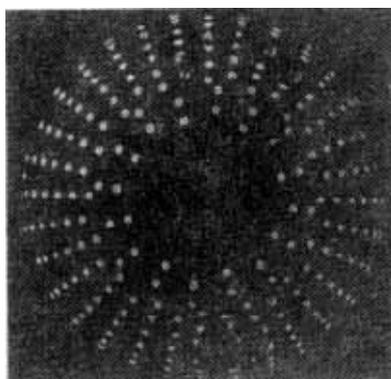


Рис 1.3 Вид гартманограммы

После экспонирования и фотохимической обработки координаты центров пятен гартманогаммы измерялись в декартовой системе координат на высокоточном измерительном приборе «Ascorecord E-2». 225 пар чисел – значений этих координат – служили исходной информацией для последующей математической обработки по системе программ на ЭВМ «Минск-32».

Как показали исследования, точность изготовления диафрагмы не могла обеспечить необходимый допуск на координаты центров отверстий $\delta = 1$ мм. Поэтому в ГОИ была произведена аттестация диафрагмы путем фотографирования ее точной фотокамерой и измерения координат изображения. Погрешность аттестации составляла 0,5 мм. Данные аттестации диафрагмы, также 225 пар чисел, вводились в систему программ вместе с данными гартманогаммы.

Для обнаружения и исключения грубых ошибок в измерении координат гартманогаммы, а также ошибок перфорации и ввода в системе программ предусмотрен останов после получения значений канонических поперечных aberrаций (в длинах волн, деленных на апертуру).

Так как характер поверхности в общем известен, большие отличия в поперечных aberrациях от ожидаемых или вообще отдельные выбросы свидетельствуют об ошибке в измерении координат соответствующей точки. В этом случае данная точка перемеряется и карта с ее координатами заменяется. После ввода проверенных и исправленных данных расчет по системе программ производился до конца.

Результаты расчета представляют собой, кроме таблицы поперечных aberrаций, таблицу концентрации энергии в разных плоскостях установки, карту зеркала – линии равного уровня отступления поверхности от номинала (рис. 1.4) и графики 12 «разрезов» зеркала через 30° . Карта содержит десять уровней с разностью высот между ними, равной 0,1 от всего диапазона отступления поверхности от номинала. На рис. 1.4 карта имеет цену уровня 0,67 мкм. Каждый уровень отмечен своей цифрой. Значение уровня и знак указаны над картой. Карта, как и графики «разрезов», строится относительно номинальной поверхности; ее средний квадрат отступлений от реальной поверхности минимален. Весь цикл от установки зеркала в положение контроля до получения результатов занимает 3-4 часа, из них машинное время на ЭВМ составляет 30 минут, а остальное затрачивается на установку диафрагмы, обработку фотоснимка, измерение и проверку координат, перфорацию исходных данных. Многократно проводимый контроль описанным методом показал хорошую воспроизводимость результатов и хорошее согласие с другими методами. Средняя квадратическая погрешность метода определения деформации поверхности составляет около 0,2 мкм при максимальной величине деформации (вблизи располировок) 6 мкм.

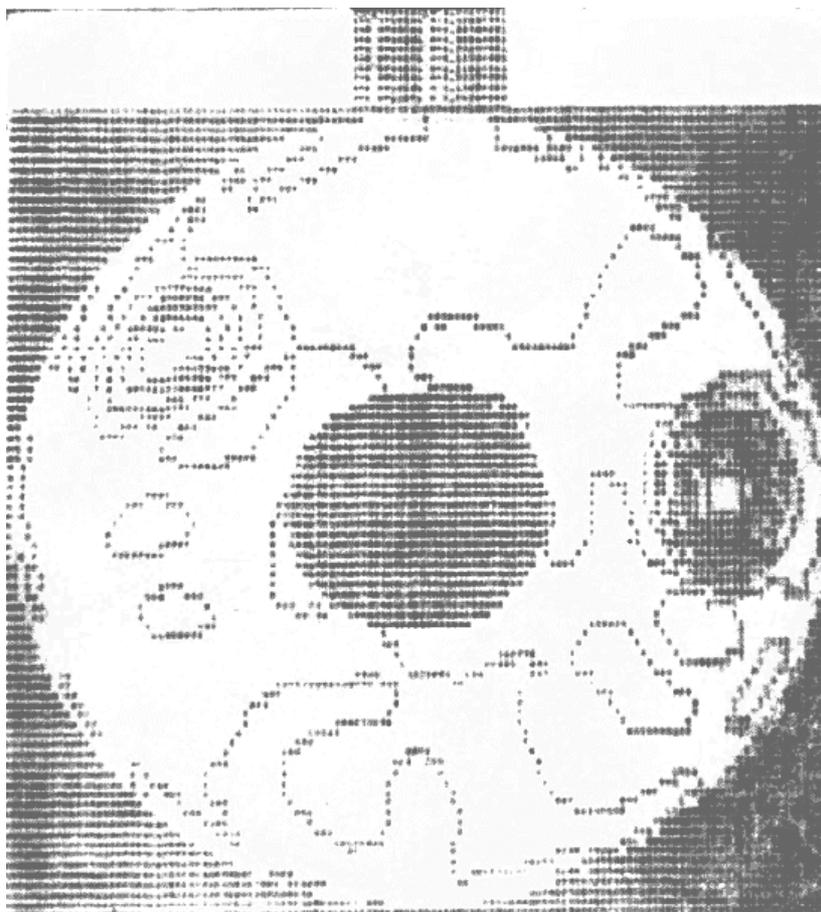


Рис. 1.4 Результаты расчета по методу Гартмана. Карта поверхности зеркала

Благодаря указанным достоинствам и удобной форме представления результатов метод Гартмана в сочетании с автоматизированной машинной обработкой был принят в качестве одного из основных технологических и аттестационных методов контроля.

1. ЛИТЕРАТУРА

1. Максutow Д. Д. Изготовление и исследование астрономической оптики. Гостехиздат, 1948.
2. Зверев В. А. и др. «ОМП», 1977, М-2, с. 18.
3. Mayall N. V., Vasilevskis S. – «Astron. J.», 1960 vol. 65, № 304.