

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ ОПТИКИ. I

АНАЛИЗ КОМПЛЕКСА МЕТОДОВ

*Г. М. Бескин, А. М. Богудлов, Э. А. Витриченко,
О. А. Евсеев*

Дается анализ комплекса методов исследования параболического астрономического зеркала. В комплекс входит пять методов: две разновидности метода Гартманна (с нуль-корректором и без него), два телевизионных фотометрических метода (получение карты зеркала и распределения энергии в кружке рассеяния) и метод фотоэлектрического измерения кружка рассеяния.

Рассмотренный здесь комплекс методов позволяет получить количественную, полную и достоверную информацию об астрономическом зеркале.

An analysis of a complex of methods for investigation of a parabolic astronomical mirror is given. The complex includes five methods: two types of Hartmann's method (with a null corrector and without it); two television photometric methods (to obtain the chart of the mirror and to analyse energy distribution over the image); and the method of photoelectric measurement of the image.

The complex of methods considered here allows to get quantitative, complete and objective data on an astronomical mirror.

Введение

В Специальной астрофизической обсерватории АН СССР разработан комплекс методов исследования астрономической оптики. Проблема возникла в связи с предстоящими аттестационными испытаниями главного зеркала большого телескопа (БТА). Здесь дается общий анализ комплекса методов, в других статьях этого тома методы рассмотрены более подробно.

К астрономической оптике предъявляются особые требования. Они заключаются в том, что высокого качества оптической поверхности необходимо достичь при сравнительно больших диаметрах (до 6 м). До сих пор не изготовлено ни одного большого (больше 1 м в диаметре) астрономического зеркала, имеющего разрешение, приближающееся к дифракционному. Для зеркала диаметром 1 м это разрешение равно $0''07$.

В связи с обнаружением в последние годы мест с отличным астрономическим климатом (Чили, Средняя Азия) обостряется необходимость повышения точности, с которой должна изготавливаться астрономическая оптика.

Для решения проблемы изготовления высокоточной астрономической оптики необходимо решить две другие, тесно связанные между собой проблемы:

- а) создать прогрессивную оптическую технологию;
- б) создать комплекс методов исследований.

Пути решения проблемы технологии намечены работами американской фирмы Айтек [1] и английской фирмы Грэм Парсонс [2]. В этих работах доказана необходимость революционного подхода: создания системы

ЭВМ—станок с аналоговой связью и математическим обеспечением. В дальнейшем мы не будем затрагивать проблемы технологии.

Сделаем два замечания относительно существующих методов исследования астрономической оптики. Во-первых, таких методов довольно много, поэтому возникает необходимость определенного выбора с учетом ограниченного времени рабочих испытаний оптики. Во-вторых, не существует ни одного идеального метода, свободного от принципиальных недостатков. Поэтому возникает необходимость предложить такой комплекс методов, в котором отдельные методы дополняли бы друг друга.

Состав комплекса методов исследования астрономической оптики

Сформулируем основные требования к методам контроля астрономической оптики. Методы должны быть: а) количественными, б) оперативными, в) обеспечивать полноту сведений, г) простыми в осуществлении.

Как уже отмечалось, ни один метод в отдельности этим требованиям не удовлетворяет.

Указанным выше требованиям удовлетворяет комплекс методов, приведенный в таблице. Методы делятся на три группы: геометрические (1 и 2), фотометрические телевизионные (3 и 4) и фотоэлектрический (5).

Комплекс методов исследования астрономической оптики

№ п. п.	Метод	Точность, %	Получаемые характеристики	Достоинства	Недостатки
1 2	Метод Гартманна без корректора с корректором	~ 10	Карта зеркала, фокусное расстояние, изображение точки, астигматизм, характеристика корректора	Геометрический; позволяет аттестовать корректор; пригоден и в цехе, и на телескопе	Чувствителен к локальным дефектам; низкое разрешение
3 4	Телевизионный Фуко-Филберта анализ изображения точки	10—20	Карта зеркала, изображение точки, астигматизм	Наглядность, оперативность; не чувствителен к локальным дефектам зеркала; высокое разрешение	Чувствителен к фотометрическим неоднородностям; не пригоден на телескопе
5	Фотоэлектрический	1	Изображение точки	Высокая точность	Не дает карты зеркала

Относительная ошибка методов — величина ориентировочная, ее точное значение зависит от многих параметров, в частности от качества исследуемой поверхности. Ошибка имеет смысл среднеквадратичной по отношению к амплитуде измеряемой величины.

Анализ методов исследования

Группа геометрических методов (методы Гартманна) состоит из двух классических методов [3, 4]. Рассмотрим более подробно их достоинства и недостатки.

Достоинства. 1. Метод Гартманна единственный из всех других позволяет работать без корректора. Корректор (или нуль-корректор) — это оптическая система, преобразующая фронт параболической волны, идущей от зеркала (зеркало параболическое), в сферическую волну. Естественно, что

такая система может быть дополнительным источником ошибок. Совокупность методов 1 и 2 дает возможность аттестовать не только астрономическое зеркало, но и корректор. Это является важнейшим достоинством группы геометрических методов.

2. Методы Гартманна основаны на законах геометрической оптики. Они нечувствительны к неоднородности засветки зеркала источником света, к неоднородности коэффициента отражения материала зеркала, нечувствительны к паразитным засветкам и к другим фотометрическим неоднородностям. Остальные методы являются фотометрическими, а потому фотометрические неоднородности вносят в них дополнительные ошибки.

3. Методы Гартманна дают полную характеристику зеркала, в том числе и величину фокусного расстояния, которое измеряется здесь наиболее прямым способом, с максимально возможной точностью.

4. Наконец, метод Гартманна применим как в цеховых условиях, так и непосредственно на телескопе. Это позволяет соблюдать методическую преемственность, а также разделять ошибки, вносимые главным зеркалом, и ошибки, вносимые вторичными зеркалами, работой разгружающих устройств и т. д. Другие методы на телескопе практически неприменимы.

Недостатки. Основное принципиальное допущение метода Гартманна заключается в том, что форма поверхности зеркала внутри области, ограниченной отверстием в диафрагме Гартманна, экстраполируется и на соседние участки поверхности зеркала. Поверхность, занятая отверстиями, составляет около 20% общей поверхности зеркала. Если она «изрыта» многими мелкими дефектами, метод может оказаться непригодным. Метод Гартманна можно применять только к «гладким» зеркалам, у которых характерный размер ошибок поверхности много больше расстояния между отверстиями в диафрагме. Между тем для астрономических зеркал из-за их сравнительно большой поверхности характерны локальные дефекты. К ним относятся мелкие располкировки вокруг пузырей, «латки» и др. Поэтому метод Гартманна необходимо «подстраховать» другим количественным методом контроля, имеющим лучшее разрешение на поверхности.

Метод Фуко—Филберта был разработан лишь в последние годы [5, 6]. Кратко анализируем фотометрические телевизионные методы.

Достоинства. 1. Наглядность и оперативность метода определяется тем, что на экране монитора все время видна количественная теневая картина, а на экране осциллографа можно увидеть любой «разрез» зеркала. При этом одновременно видны и профиль поперечных аберраций и нормальный профиль для любой выбранной хорды. Поворотное устройство в приборе «Тень-2», изготовленном в Специальной астрофизической обсерватории АН СССР, позволяет делать разрезы при любом позиционном угле.

2. Высокое разрешение на поверхности зеркала. Если для зеркала БТА диаметром 6 м метод Гартманна (реально осуществленный) имеет разрешение 26 см, то прибор «Тень-2» дает разрешение около 2 см, т. е. на порядок лучше.

Недостатки. 1. Метод чувствителен к фотометрическим неоднородностям. Наиболее важны три из них: неоднородность освещения поверхности зеркала, неоднородность коэффициента отражения материала зеркала и неоднородность чувствительности сигнальной пластины видикона. Много неприятностей при измерениях доставляют паразитные засветки. Однако все эти эффекты можно учесть, что представляет не принципиальную, а лишь техническую трудность.

2. Метод пригоден в цеховых условиях, на телескопе его применять невозможно. Это связано с тем, что для получения количественной теневой

картины необходимо использовать источник света в виде прямоугольной щели. На небесной сфере таких источников света не существует.

Фотоэлектрический метод измерения распределения света в изображении точки дает важную для астрономии величину — разрешение. При этом достигается наибольшая точность по сравнению со всеми другими методами. Фотоэлектрические измерения не дают никаких сведений о фигуре зеркала. Метод был разработан совместно с А. Г. Щербаковым (Крымская астрофизическая обсерватория АН СССР).

Заключение

Комплекс методов исследования, рассмотренный здесь, позволяет получить количественную объективную информацию об астрономическом зеркале. Методы подобраны так, чтобы недостатки одних можно было бы легко выявить и учесть с помощью других.

Частичное дублирование получаемой информации вполне оправдано, поскольку этим гарантируется ее достоверность.

Вне рассмотрения остались два вполне современных метода исследования астрономической оптики: интерференционный и голографический. Эти методы сейчас разрабатываются другими организациями.

В заключение приносим благодарность И. М. Копылову, Д. Т. Пуряеву, М. А. Уханову, П. В. Щеглову, Г. Г. Амуру, В. А. Иванову и В. А. Звереву за внимание к работе и полезные дискуссии.

Литература

1. R. Aspden, R. McDonald, F. R. Nitchie, *Applied optics*, 11, No. 12, 2739, 1972.
2. D. C. Brown. *Large Telescope Design*. Geneva, 1971, p. 273.
3. М. Романова, *Тр. ГОИ*, 4, вып. 35. Л., 1927.
4. N. U. Mayall, S. Vasilevskis, *Lick Obs. Bull.*, 567, 304, 1960.
5. M. Philbert, *Optica Acta*, 14, No. 2, 169, 1967.
6. А. М. Богудлов, Э. А. Витриченко, Э. Б. Гажур, О. А. Евсеев, М. М. Кононов. Опыт исследования 2.6-метрового сферического зеркала модифицированным методом Фуко. М., 1973.