

Разработка гартмановского датчика на основе использования матрицы микролинз

Толстоба Н.Д.

E-mail: nadinet@aco.ifmo.ru

Санкт-Петербургский государственный институт точной механики и оптики
(технический университет)
197101, Санкт-Петербург, ул. Саблинская, 14
тел. 232-09-95.

В процессе изготовления и наладки Большого телескопа азимутального (БТА) [1] с диаметром главного зеркала 6 метров, для контроля качества отражающей поверхности главного зеркала использовался разработанный ИТМО метод, основанный на принципах классического метода Гартмана [2], с так называемой малоразмерной диафрагмой Гартмана [3], не требующий при контроле изготовления и установки полноразмерной диафрагмы диаметром 6 метров. С тех пор требования к точности и оперативности контроля оптики существенно возросли, также повысились возможности электронной регистрации и компьютерной обработки картины. Поэтому необходима существенная модернизация процесса контроля качества оптики БТА.

В данной статье уделяется внимание разработке альтернативного метода, основанного на растре микролинз и позволяющего резко повысить точность и оперативность контроля.

Гартмановский датчик на основе матрицы микролинз

Применение малоразмерной близфокальной диафрагмы Гартмана наряду с преимуществами [4,5] (повышение оперативности и удобства контроля) имеет ряд недостатков: во-первых наличие все еще достаточно большой диафрагмы Гартмана, а во-вторых, необходимость введения значительной расфокусировки матрицы для надежного распознавания пятен, и, следовательно, применения матрицы ПЗС нестандартно большого размера или использования мозаики из нескольких матриц, что крайне неудобно.

Для устранения этих недостатков целесообразно использовать новейшую модификацию метода Гартмана (так называемый метод Шека-Гартмана) [6], основанную на использовании раstra микролинз. При этом устраняется вообще необходимость в какой-либо диафрагме Гартмана, повышается информативность метода за счет увеличения количества пробных точек и обеспечивается возможность использования ПЗС матрицы любого стандартного размера. В свою очередь, применение этого метода требует высокоточного раstra микролинз и разработки и изготовления специальных достаточно точных объективов.

Принцип построения датчика для контроля качества крупногабаритной оптики на базе раstra микролинз

На рис.1 показана принципиальная схема датчика. В плоскость первичного фокуса ФП, где расположено аберрированное изображение одиночной звезды, помещена коллективная линза К. Эта линза, находясь в плоскости изображения, практически не влияет на aberrации первичного зеркала и, следовательно, на результаты измерений, ее назначение заключается в оптическом сопряжении контролируемой поверхности зеркала с плоскостью раstra микролинз. Объектив О преобразует расходящийся пучок лучей, падающий на него от изображения звезды, распложенного в первичном фокусе, в параллельный пучок (с точностью до aberrаций). Светофильтр Ф ограничивает спектральный интервал излучения, чтобы не предъявлять сверхжестких требований к апохроматизации объектива. Растр микролинз РМЛ разбивает падающий на него пучок на множество субапертур в соответствии с количеством микролинз в растре и преобразует его во множество сходящихся пучков, каждый из которых формирует свое изображение звезды на ПЗС матрице детектора изображения.

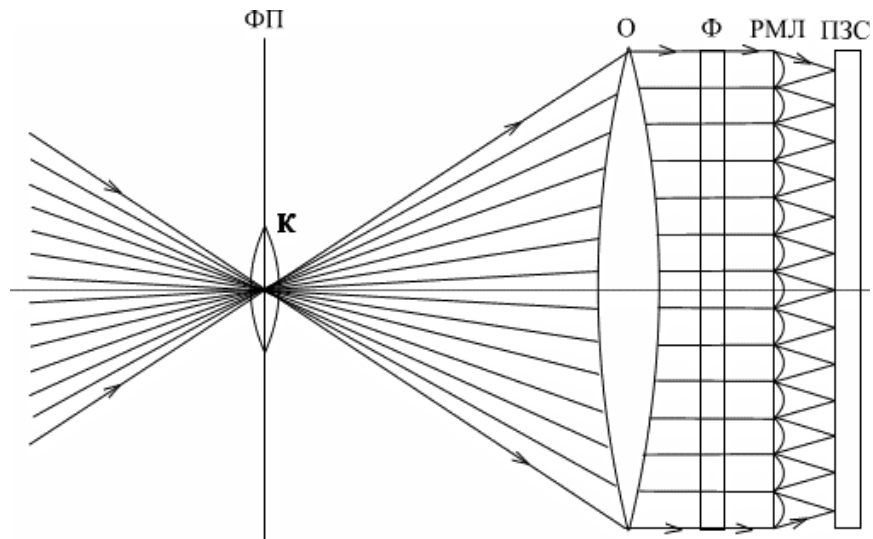


Рис.1 Принципиальная оптическая схема гартмановского датчика.

Условные обозначения в схеме: ФП - плоскость первичного фокуса, К- коллективная линза, О- объектив, Ф - светофильтр, РМЛ - растр микролинз, ПЗС - матрица детектора изображения.

Таким образом, если поверхность зеркала идеальна, следовательно изображение звезды в первичном фокусе в приближении геометрической оптики представляет собой точку, находящуюся в передней фокальной плоскости объектива О. Если, в свою очередь, объектив О не вносит aberrаций, то на растр микролинз падает идеально параллельный пучок лучей и, как нетрудно видеть, сетка изображений звезды на ПЗС матрице точно повторяет сетку растра микролинз и, если последний имеет точно регулярную сетку, на ПЗС матрице мы также получим регулярную сетку пятен - изображений звезды.

Очевидно, что смещение какого-либо изображения звезды, сформированного микролинзой на ПЗС матрице, от идеального положения, пропорционально отклонению нормали сопряженного участка зеркала. Поскольку коллективная линза “К” практически без искажений отображает сетку растра микролинз на поверхность зеркала, мы в результате имеем значения отклонений нормали к поверхности зеркала от идеального положения во множестве регулярно расположенных точек на поверхности зеркала, причем, в отличие от метода контроля по малой диафрагме Гартмана, сетка пробных точек на поверхности зеркала остается регулярной и положение этих точек не зависит от деформаций зеркала. Информация о деформациях может быть получена таким же образом, как и в методе с малоразмерной диафрагмой [7-12].

В результате исследований мы будем иметь довольно густую и регулярную сетку пробных точек на зеркале, что позволит получить сведения о значительно более мелкоструктурных деформациях поверхности, чем в классическом методе.

Литература

- 1 *Создание Большого азимутального телескопа БТА.* Под ред. В.Ю.Торочкова. М. ЦНИИ информации, 1976.
- 2 *Оптический производственный контроль /* Под ред. Д. Малакары; пер. С английского Е.В.Мазуровой и др.; Под ред. А.Н.Соснова. - М.: Машиностроение, 1985.- 400с.
- 3 Шабанов М.Ф., Ерохин В. И., Тихонов Н.А. *Результаты аттестации главного зеркала после алюминирования. Отчет САО.* АН СССР, сентябрь 1979.
- 4 Зверев В.А., Родионов С.А., Сокольский М.Н., Усоскин В.В *Исследование главного зеркала БТА в обсерватории.* - ОМП, 1977,№ 4, с. 3.
- 5 Зверев В.А., Родионов С.А., Сокольский М.Н., Усоскин В.В *Технологический контроль главного зеркала БТА методом Гартмана-* “ОМП”, 1977,№ 3, с. 3.
- 6 Bhatia, Rajiv K.; Ciani, Adriana *Using the Shack-Hartmann system for a complete analysis of*

optical telescopes Proc. SPIE, 1997, Vol. 3134, p. 167-176.

- 7 Бездидько С.Н. *Определение коэффициентов разложения волновой aberrации по полиномам Цернике.* - ОМП, 1975, № 7, с. 75.
- 8 Зверев В.А., Родионов С.А., Сокольский М.Н., Усоскин В.В *Математические основы гартмановского теста главного зеркала БТА.* - ОМП, 1977, № 2, с. 18.
- 9 Корн Г., Корн Т. *Справочник по математике для научных работников и инженеров.* М., 1974. - 832с.
- 10 Родионов С.А., Усоскин В.В., Пржевальинский Л.И. *Вычисление ортогональных на кольце полиномов Цернике.* Л., Труды ЛИТМО, 1979.
- 11 Tolstoba, Nadezhda D. *Gram-Schmidt technique for aberration analysis in telescope mirror testing.* Proc. SPIE, 1999, Vol. 3785, p. 140-151.
- 12 Усоскин В.В. *Упрощенная обработка результатов контроля астрономических систем по методу Гартмана.* Л., Труды ЛИТМО, 1979.