

Статические характеристики биморфного зеркала DM2-100-31 и возможность его применения в адаптивной оптической схеме Большого солнечного вакуумного телескопа

Е.А. Копылов, В.П. Лукин*

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1

Поступила в редакцию 6.05.2010 г.

Приведены результаты исследования возможности использования биморфного зеркала DM2-100-31 для управления общими наклонами волнового фронта при подаче напряжения на внешнее кольцо управляющих электродов. Измерена статическая характеристика управляемого по наклонам зеркала при различных световых апертурах. Определен диапазон линейного изменения углов наклона зеркала в зависимости от напряжения на управляющих электродах. Показано, что использование биморфного зеркала DM2-100-31 в адаптивной оптической системе Большого солнечного вакуумного телескопа позволит компенсировать общие наклоны волнового фронта на входной апертуре телескопа в диапазоне $\pm 4,8$ угл. с.

Ключевые слова: биморфное зеркало, среднеквадратическое отклонение, адаптивная оптическая система; bimorph mirror, root mean square a deviation, adaptive optical system.

Введение

Коллективом авторов [1] была разработана адаптивная оптическая система (АОС) для повышения качества фокусировки в лазерных системах, основанная на алгоритме фазового сопряжения. Эта АОС включает в себя разработанное ими же деформируемое биморфное зеркало DM2-100-31 (рис. 1), предназначенное для коррекции лазерного излучения. Целью данной работы является исследование возможности использования деформируемого зеркала DM2-100-31 в АОС Большого солнечного вакуумного телескопа (БСВТ) [2] для коррекции не только внешних aberrаций, но и углов наклона волнового фронта, а именно: необходимо оценить диапазон углов наклона зеркала и качество поверхности при различных световых апертурах. Полученные данные необходимы для корректной работы зеркала в составе АОС в замкнутом контуре управления на БСВТ Байкальской астрофизической обсерватории [2].

Методика исследования

Исследование проходило в два этапа. Первый этап – на лабораторном стенде с помощью интерферометра РИФ-100 [3] производства фирмы «Найт Н» и программного обеспечения для обработки интерференционных картин. Зеркало DM2-100-31 имеет световую апертуру 105 мм и 31 управляющий электрод.

На рис. 1 представлена геометрия расположения управляющих электродов зеркала.

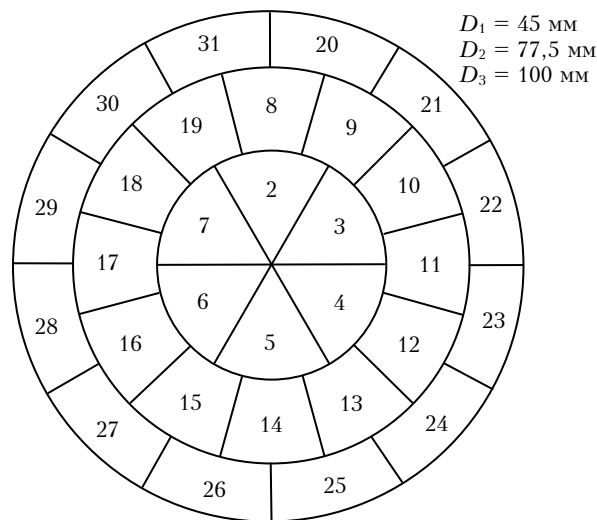


Рис. 1. Схема расположения электродов на внешней пьезо-керамической пластине зеркала DM2-100-31 (D_1 , D_2 , D_3 – диаметры соответствующих колец электродов)

При управлении общими наклонами волнового фронта гибким зеркалом внешнее кольцо электродов исключается из световой апертуры исследуемого зеркала. Компенсация aberrаций волнового фронта на световой апертуре зеркала обеспечивается управляющими напряжениями на внутренних электродах зеркала.

* Евгений Анатольевич Копылов (evgen704@iao.ru); Владимир Петрович Лукин (lukin@iao.ru).

Из-за особенности конструкции биморфного зеркала качество поверхности зависит от внешних условий эксплуатации, поэтому первоначально необходимо производить процедуру начальной коррекции поверхности зеркала. Деформация начальной плоскостности поверхности ($P - V$) зеркала составляла 2,548 мкм, среднеквадратическое отклонение (RMS) от плоскостности поверхности 0,817 мкм. Для коррекции начальных aberrаций найдены напряжения для выравнивания всей поверхности зеркала. Остаточная деформация поверхности после выравнивания составила $P - V = 0,301$ мкм, $RMS = 0,03$ мкм. Проверялась воспроизводимость этой поверхности при приложении фиксированного напряжения на электроды зеркала. Величина корректировки напряжения составила: на 1-м электроде, отвечающем за изменения кривизны всей поверхности зеркала (фокусировку), до ± 14 В, на 2-м кольце (2–7-й электроды) до ± 8 В, на 3-м кольце (8–19-й электроды) до ± 20 В, на 4-м кольце (20–31-й электроды) до ± 18 В.

Методом линейной аппроксимации было рассчитано распределение управляющих напряжений на электроды внешнего кольца для создания наклона зеркала по оси X и Y . При измерении угловой чувствительности зеркала (рис. 2) по приложенному напряжению контролировалась плоскостность рабочей поверхности зеркала.

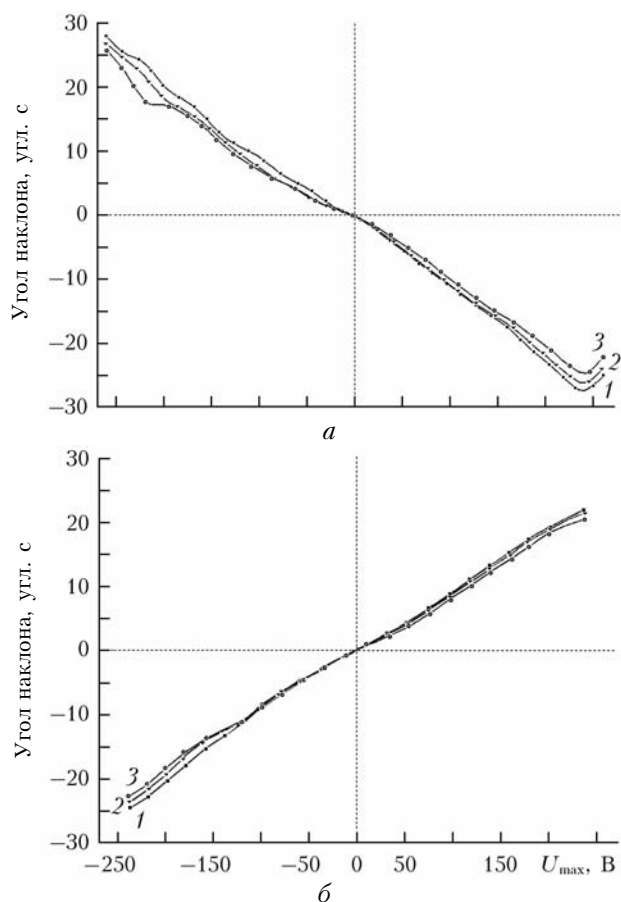


Рис. 2. Зависимость угла наклона зеркала от приложенного напряжения на внешнее управляющее кольцо зеркала по оси X (a) и Y (b): кривая 1 соответствует световой апертуре зеркала 45; 2 – 61,7; 3 – 77,5 мм

Максимальная абсолютная ошибка измерений угла наклона, выраженная в среднеквадратическом отклонении, во всем диапазоне управляющих напряжений не превышает $\pm 0,51$ угл. с по оси X и $\pm 0,59$ угл. с по оси Y . Рис. 2 показывает, что статическая характеристика управляемого по углам наклона зеркала близка к линейной в диапазоне управляющих напряжений ± 240 В.

Коэффициенты передачи управляемого по углам наклона зеркала (α), полученные при линейной аппроксимации статической характеристики (см. рис. 2) в диапазоне управляющих напряжений (U) ± 240 В, приведены в таблице.

На рис. 3 показана зависимость среднеквадратического отклонения от плоскостности поверхности зеркала при его наклоне по осям X и Y .

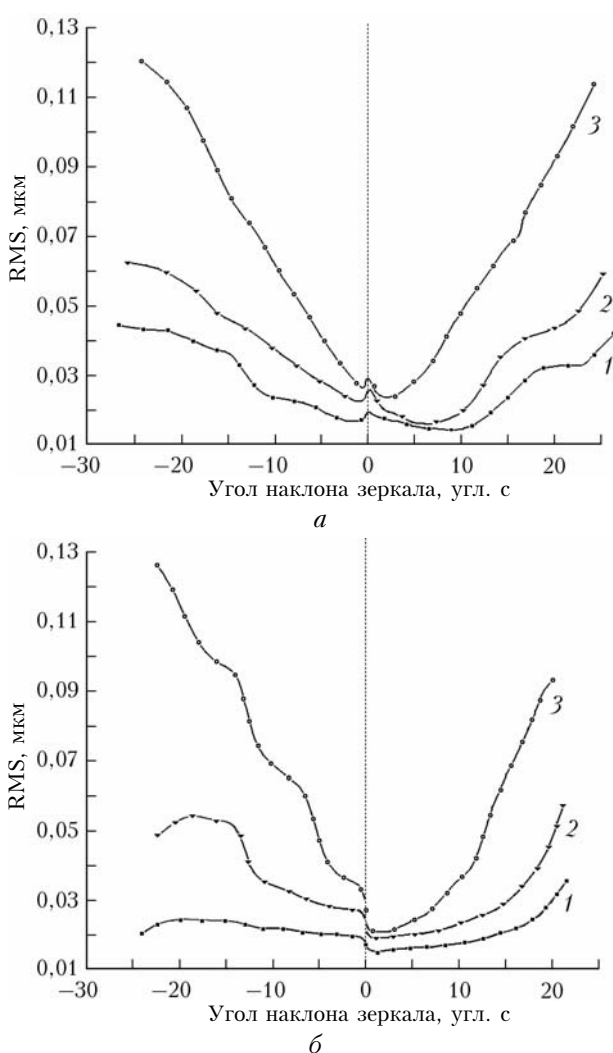


Рис. 3. Деформация, присутствующая на поверхности зеркала при наклоне по осям X (a) и Y (b): кривая 1 соответствует световой апертуре зеркала 45; 2 – 61,7; 3 – 77,5 мм

Разница значений в нулевой точке связана с различной степенью плоскостности поверхности в начальной точке измерений, так как нулевая поверхность всегда имеет некоторую деформацию. Фактически

Коэффициенты передачи зеркала при различной световой апертуре при наклоне по осям X и Y

Ось X			Ось Y		
$D_{\text{свет. аперт.}}$ мм	Коэффициент переда- чи, $\Delta\alpha/\Delta U$, угл. с/В	Ошибка аппрокси- мации, угл. с	$D_{\text{свет. аперт.}}$ мм	Коэффициент переда- чи, $\Delta\alpha/\Delta U$, угл. с/В	Ошибка аппрокси- мации, угл. с
45	-0,10664	0,955732	45	0,0928	0,71876
53,5	-0,10555	0,83195	53,5	0,0922	0,57574
57,1	-0,11095	1,23292	57,1	0,09141	0,53932
61,7	-0,10049	0,98368	61,7	0,08901	0,56564
64,2	-0,10295	0,93171	64,2	0,08968	0,53558
67,1	-0,10269	0,74574	67,1	0,08986	0,60413
71,4	-0,10142	0,83062	71,4	0,089	0,59963
77,5	-0,09324	1,11068	77,5	0,0866	0,64193

эти графики показывают отклонение от плоскостности поверхности зеркала при работе системы при конкретной рабочей апертуре. В данном случае при управлении плоскостью зеркала по углам наклона максимальная деформация плоскости не превышает 0,14 мкм ($\sim \lambda/4$; $\lambda = 0,63$ мкм).

Второй этап исследования проводился на телескопе. Для выработки сигналов управления перед работой любой адаптивной системы прежде всего снимают функции отклика именно в той оптической схеме, в которой стоит гибкое зеркало.

На экспериментальной установке АОС БСВТ при снятии функции отклика использовалась световая апертура деформируемого зеркала диаметром 60 мм, которая соответствует входному зрачку телескопа.

Функции отклика измерялись датчиком волнового фронта Шека–Гартмана при точечной диафрагме в главном фокусе телескопа.

Измеренные функции отклика используются в численном эксперименте для определения оптимальной конфигурации электродов гибкого зеркала и разработки алгоритма управления.

Заключение

На основании проведенных измерений в сентябре 2005 г. [4] среднеквадратическое отклонение смещения изображения, вызванное суммарными ошибками (атмосферными и инструментальными), составило 0,730 и 0,740 угл. с по осям X и Y соответственно. Максимальный угол наклона на входной апертуре телескопа составляет около 2,2 угл. с. Учитывая, что коэффициент масштабирования в адаптивной оптической системе телескопа равен 10, угол наклона волнового фронта в плоскости управляемого зеркала будет соответствовать 22 угл. с. Поэтому необходимо, чтобы зеркало, которое будет производить корректировку наклонов, имело не меньший угловой диапазон.

Проведенное исследование статических характеристик биморфного гибкого зеркала DM2-100-31 показало возможность управления общими наклона-

ми волнового фронта в адаптивной оптической системе Большого солнечного вакуумного телескопа, при подаче управляющего напряжения на внешнее кольцо электродов. Диапазон углов наклона гибкого зеркала составил ± 24 угл. с. При углах наклона зеркала ± 24 угл. с диапазон изменения углов наклона волнового фронта, отраженного от зеркала излучения, составляет ± 48 угл. с.

Использование такого зеркала в адаптивной системе БСВТ при установке его в выходном зрачке телескопа с десятикратным угловым увеличением позволяет компенсировать наклоны волнового фронта на входном зрачке в диапазоне $\pm 4,8$ угл. с. Плоскостность поверхности управляемого зеркала при этом не превышает $\sim \lambda/4$ ($\lambda = 0,63$ мкм).

Работа выполнена при поддержке комплексного интеграционного проекта СО РАН № 3.2 «Развитие адаптивных систем коррекции изображения для наземных телескопов» и Программы президиума РАН № 16. Часть 3. Проект 1. «Дневной астроклимат и проблемы построения адаптивного телескопа».

1. Александров А.Г., Завалов В.Е., Кудряшов А.В., Панченко В.Я., Рукосуев А.Л., Самаркин В.В. Адаптивная оптика для мощных лазеров со сверхкороткими импульсами излучения // Сб. трудов ИПЛИТ РАН. М.: Интерконтакт Наука, 2005. С. 55–70.
2. Лукин В.П., Григорьев В.М., Антошкин Л.В., Ботыгина Н.Н., Емалеев О.Н., Коняев П.А., Ковадло П.Г., Скоморовский В.И. Возможности применения адаптивной оптики для солнечных телескопов // Солнечно-земная физика. 2008. Т. 1, вып. 12. С. 74–75.
3. Кудряшов А.В., Лакота В.Н., Тихонов В.А., Шмальгаузен В.И. Стабилизированный интерферометр Физо на основе полупроводникового лазера // Квант. электрон. 1988. Т. 15, № 7. С. 1325–1326.
4. Лукин В.П., Григорьев В.М., Антошкин Л.В., Ботыгина Н.Н., Емалеев О.Н., Коняев П.А., Копылов Е.А., Лавринов В.В., Ковадло П.Г., Скоморовский В.И. Результаты испытания адаптивной оптической системы с модифицированным корреляционным датчиком на Большом солнечном вакуумном телескопе // Оптика атмосф. и океана. 2007. Т. 20, № 5. С. 419–427.

E.A. Kopylov, V.P. Lukin. Static characteristics of the DM2-100-31 bimorph mirror and a possibility of its application in the adaptive optical system of Big Solar Vacuum Telescope.

Results of research of the possibility of the use of bimorph mirrors DM2-100-31 for operation of the tip-tilt of wave front at giving voltage on an external ring of operating electrodes are presented. The static characteristic of a mirror operated on inclinations is measured at various light apertures. The range of linear change slope of angles of the mirror depending on the pressure on operating electrodes is determined. It is shown that the use of the bimorph mirror DM2-100-31 in the adaptive optical system of the Big solar vacuum telescope will allow to compensate the tip-tilt of the wave front on the aperture of the telescope in a range ± 4.8 angular seconds.

Статические характеристики биморфного зеркала DM2-100-31 и возможность его применения...