

УДК 523.9, 520.24

ИССЛЕДОВАНИЕ БИМОРФНОГО ЗЕРКАЛА АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ БОЛЬШОГО СОЛНЕЧНОГО ВАКУУМНОГО ТЕЛЕСКОПА

Е.А. Копылов, В.П. Лукин

EXAMINATION OF THE BIMORPH MIRROR OF ADAPTIVE SYSTEM FOR THE LARGE SOLAR VACUUM TELESCOPE

E.A. Kopylov, V.P. Lukin

В мировой науке исследования Солнца занимают одно из важных мест. Это объясняется тем, что солнечная активность оказывает существенное влияние на физические процессы и явления, происходящие на Земле и в околоземном космическом пространстве. Даже сегодня многие фундаментальные научные проблемы физики Солнца решаются на основе оптических наблюдений. Для этого необходимы солнечные телескопы с высоким пространственным и угловым разрешением. Однако разрешение солнечных наземных телескопов существенно снижает атмосферная турбулентность. Чтобы улучшить пространственное разрешение действующих телескопов, в их состав включают адаптивные оптические системы (АОС).

Для компенсации искажений, вызванных атмосферной турбулентностью, в солнечных адаптивных системах, как правило, используется два управляемых зеркала: одно для управления общими наклонами волнового фронта (ВФ) и второе для отработки высших аберраций волнового фронта [Richards, Rimmele, 2008; Rimmele, 2004]. Недостатком таких схем является большая длина оптического пути в АОС, вследствие чего возникают дополнительные искажения изображения Солнца за счет павильонной турбулентности.

Альтернативным вариантом является создание адаптивной системы с одним управляемым элементом, конструкция которого позволяет отдельно управлять наклонами ВФ и исправлять аберрации высших порядков. Преимущества такой одноконтурной системы – это уменьшение влияния павильонной турбулентности и компактность. АОС такого типа разрабатывается коллективом авторов для Большого солнечного вакуумного телескопа (БСВТ) [Лукин и др., 2007; 2008;].

В качестве элемента, корректирующего волновой фронт, в АОС БСВТ используется деформируемое биморфное зеркало DM2-100-31 [Александров и др., 2005], разработанное для повышения качества фокусировки в лазерных системах. Зеркало имеет световую апертуру 105 мм. В АОС БСВТ входной зрачок телескопа масштабируется и составляет 60 мм в плоскости управляемого зеркала.

Целью данной работы является оценка возможности коррекции общих наклонов ВФ при подаче управляющих напряжений на внешнее кольцо электродов (рис. 1) и исследование характеристик зеркала DM2-100-31 при ограничении световой апертуры до 60 мм.

При апертуре 60 мм внешнее кольцо электродов находится вне световой апертуры зеркала и используется для управления только наклонами зеркала.

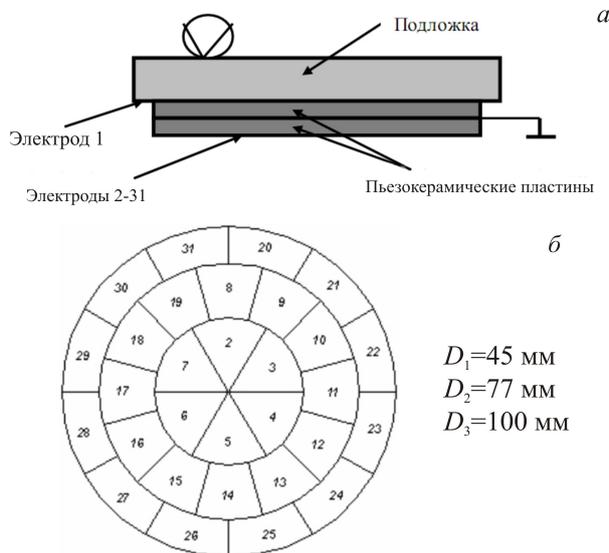


Рис. 1. Схема зеркала DM2-100-31 и расположение электродов на внешней пьезокерамической пластине (D_1 , D_2 , D_3 – диаметры соответствующих колец электродов).

Наклоны зеркала по оси X осуществляются при подаче в противофазе управляющих напряжений на электроды левого и правого полуколец, по оси Y – на электроды верхнего и нижнего полуколец. Управляющие напряжения распределяются по электродам полукольца (от центральных к крайним) пропорционально уменьшению расстояния от центров электродов до оси наклона зеркала.

Динамический диапазон линейного изменения углов наклона зеркала (рис. 2) составил ± 24 угл. сек, что соответствует ± 4.8 угл. сек на входной апертуре телескопа. При начальной плоскостности поверхности зеркала $\lambda/20$ деформация поверхности зеркала в пределах световой апертуры в режиме управления наклонами не превышает $\lambda/10$ ($\lambda=0.63$ мкм, $RMS=0.063$ мкм) (рис. 3). Проведенные ранее измерения в сентябре 2005 г., августе 2009 г. и марте 2010 г. показали, что среднеквадратичное отклонение угла наклона ВФ на входной апертуре телескопа не превышает 2.4 угл. сек.

Компенсация аберраций ВФ в пределах световой апертуры зеркала обеспечивается управляющими напряжениями на 19 внутренних электродах зеркала. Для формирования сигнала управления в рабочем режиме АОС на этапе калибровки измеряются 19 функций отклика зеркала (абerrации ВФ, вызванные деформацией поверхности зеркала в пределах световой апертуры при последовательной подаче определенного напряжения на каждый из девятнадцати электродов). Функции отклика служат базисом при разложении корректируемых аберраций ВФ.

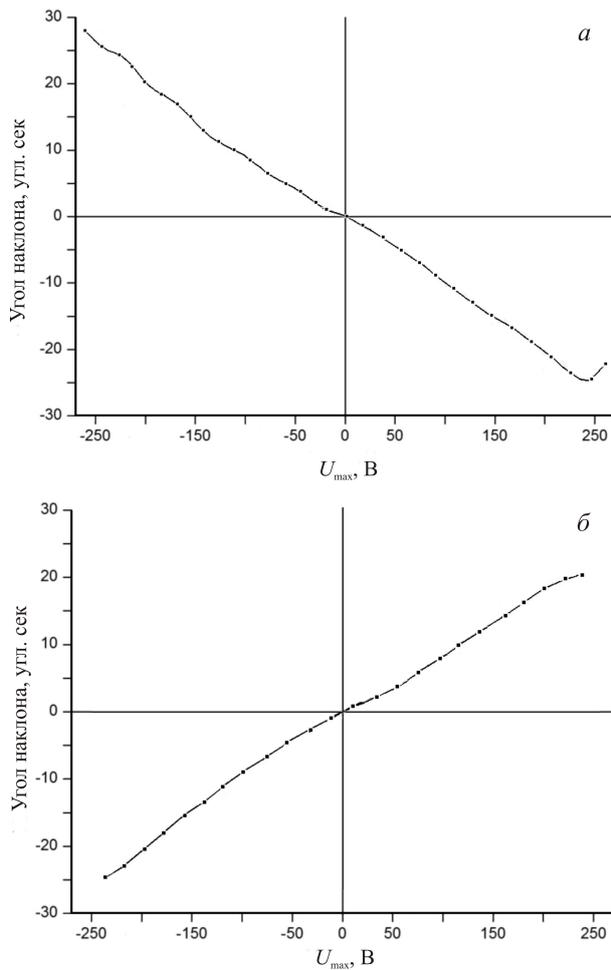


Рис. 2. Зависимость угла наклона зеркала по оси X (а) и по оси Y (б) от управляющего напряжения.

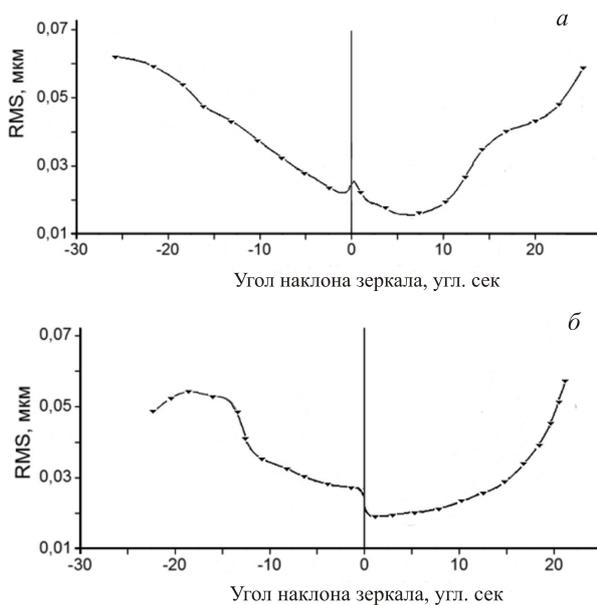


Рис. 3. Плоскостность поверхности зеркала в пределах световой апертуры при наклоне зеркала по оси X (а) и по оси Y (б).

Коэффициенты разложения используются для формирования сигнала управления.

Для оценки динамических свойств управляемого зеркала измерялась переходная характеристика. При подаче ступенчатого напряжения на электрод зеркала

датчиком волнового фронта с частотой 262 кадра в секунду регистрировались гартманогаммы. На основе анализа последовательности гартманогамм строилась переходная характеристика управляемого зеркала. Из переходной характеристики следует, что время установления деформации поверхности зеркала в среднем составляет 23 мс.

Предварительные результаты натурных испытаний адаптивной системы в схеме телескопа показаны на рис. 4 и 5.

На рис. 4 показано, как изменяется среднеквадратичное отклонение ВФ при включении адаптивной системы в режиме коррекции только наклонов волнового фронта.

На рис. 5 приведены спектры мощности сигнала смещения изображения, контролируемого по 4-му коэффициенту при полиноме Цернике, отвечающего за расфокусировку волнового фронта, при работе адаптивной системы и при ее отключении.

Предварительные результаты обработки экспериментальных данных, полученных в августе 2011 г., показывают эффективность использования биморфного зеркала DM2-100-31 в одноконтурной адаптивной системе для БСВТ в режимах коррекции углов наклона (C_1, C_2) волнового фронта и коррекции расфокусировки (C_4). Однако большое время установления деформации поверхности зеркала при воздействии

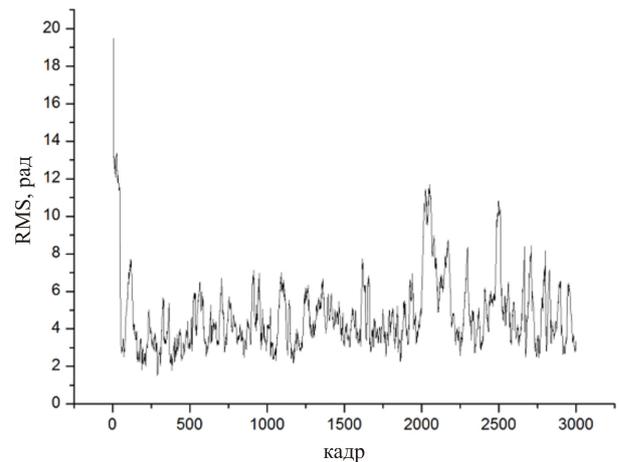


Рис. 4. Работа адаптивной оптической системы в режиме коррекции углов наклона волнового фронта.

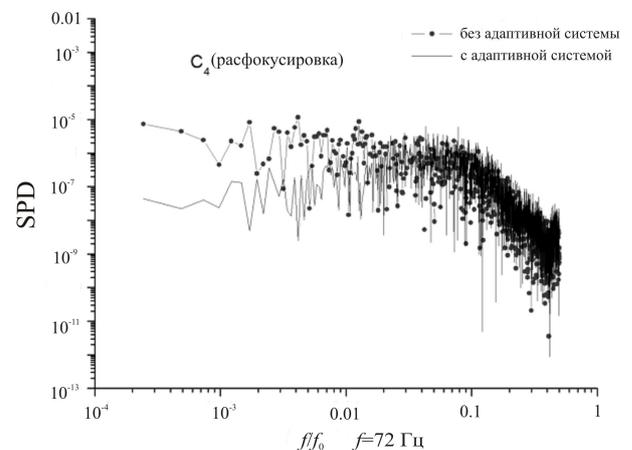


Рис. 5. Работа адаптивной оптической системы в режиме коррекции расфокусировки волнового фронта.

сигнала управления может являться причиной ограничения рабочей полосы частот АОС (~7 Гц).

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Фонда Михаила Прохорова по программе «Академическая мобильность».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Александров А.Г., Завалов В.Е., Кудряшов А.В. и др. Адаптивная оптика для мощных лазеров со сверхкороткими импульсами излучения // Сборник трудов ИППЛИТ РАН. 2005. С. 55–70.

Лукин В.П., Григорьев В.М., Антошкин Л.В. и др. Результаты испытания адаптивной оптической системы с модифицированным корреляционным датчиком на Боль-

шом солнечном вакуумном телескопе // Оптика атмосферы и океана. 2007. Т. 20, № 5. С. 419–427.

Лукин В.П., Григорьев В.М., Антошкин Л.В. и др. Возможности применения адаптивной оптики для солнечных телескопов // Солнечно-земная физика. 2008. Вып. 12. Т. 1. С. 74–75.

Richards K., Rimmele T. Real-time processing for the ATST AO system // Proc. of the Advanced Maui Optical and Space Surveillance Technologies Conference. Hawaii. September 17–19, 2008. P. E26.

Rimmele T. Recent advances in solar adaptive optics // Proc. of SPIE. 2004. V. 5490. P. 34–45.

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск