

## ИЗМЕРЕНИЕ И КОМПЕНСАЦИЯ СРЕДНЕГО НАКЛОНА ВОЛНОВОГО ФРОНТА

Г. В. Башкатов\*, И. В. Животовский, В. Е. Карасик, А. А. Сахаров

*Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва, Россия*

*\*E-mail: bashkatov@bmstu.ru*

---

Известно, что при распространении в атмосфере излучение подвергается искажениям, что приводит к ухудшению характеристик астрономических телескопов и открытых оптических линий связи. Оптические параметры атмосферы, позволяющие оценить влияние её состояния на работу этих систем, обладают высокой пространственно-временной изменчивостью и имеют стохастический характер. Для уточнения существующих моделей взаимодействия атмосферы и оптического излучения необходим значительный массив экспериментальных данных.

Для решения этой задачи применяют датчики волнового фронта (например, датчики Шака–Гартмана или датчики кривизны). Следует отметить, что таким датчикам для проведения измерений необходим источник опорного сигнала, несущий информацию об атмосферной турбулентности. В некоторых случаях его можно реализовать с помощью отраженного от уголкового световозвращателя излучения. Идеальный световозвращатель обращает направление распространения пучка вдоль его оптической оси и производит центрально-симметричное преобразование распределения поля пучка в плоскости падения относительно своей вершины. Данный факт, вместе с принципом взаимности распространения излучения, позволяет заключить о возможности полной компенсации среднего наклона волнового фронта при двукратном прохождении пучка (с последовательным прямым и обратным ходом), что делает его измерение невозможным. Указанный эффект хорошо известен при работе с лазерными опорными звёздами, однако физическая природа явления в данном случае иная.

В рамках исследования проведено математическое моделирование распространения излучения в неоднородной атмосфере, приводящей к возникновению наклона волнового фронта при различных диаметрах пучка и световозвращателя. Показано, что дифракция на апертурах передающей системы и световозвращателя обуславливает появление чувствительности датчика к среднему наклону волнового фронта, причем степень этой чувствительности определяется размерами апертур. Приведены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие возможность измерения среднего наклона волнового фронта.

## MEASUREMENT AND CORRECTION OF THE GLOBAL WAVEFRONT TILT

G. V. Bashkatov\*, I. V. Zivotovsky, V. E. Karasik, A. A. Sakharov

*Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia*

*\*E-mail: bashkatov@bmstu.ru*

Atmospheric propagation introduces distortions in optical beams, degrading the performance of astronomical telescopes and free-space optical links. The atmospheric optical parameters, which determine the extent of this impact, are highly variable in both space and time and exhibit stochastic behavior. Accurate modeling of the interaction between optical radiation and the atmosphere therefore requires extensive experimental datasets.

Wavefront sensors, such as Shack–Hartmann or curvature sensors, are commonly employed to address this challenge. These sensors, however, require a reference source that carries information about atmospheric turbulence in order to provide meaningful measurements. In some implementations, this reference can be realized using radiation reflected from a corner-cube retroreflector

An ideal retroreflector returns the beam along its incoming axis and performs a centrally symmetric transformation of the transverse field distribution relative to its vertex. When combined with the principle of reciprocity, this property implies that the global wavefront tilt can be completely compensated during double-pass propagation (forward and backward), rendering its direct measurement impossible. While similar

phenomenon is well documented in the context of laser guide stars, its underlying physical mechanism differs in the present scenario.

In this study, we perform numerical simulations of beam propagation through a nonuniform atmosphere, which induces wavefront tilt depending on the diameters of the beam and the retroreflector. Diffraction at the apertures of both the transmitting system and the retroreflector generates sensor sensitivity to the global wavefront tilt, with the degree of sensitivity determined by the aperture sizes. Experimental results confirm that the global wavefront tilt can be measured under these conditions.