

## Возможности прогнозирования фазовых флуктуаций на вертикальных атмосферных трассах\*

В.П. Лукин<sup>1</sup>, И.П. Лукин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

Описывается построение алгоритма управления системами адаптивной оптики, использующего прогнозирование эволюции пространственных и временных распределений фазовых искажений в оптической волне при распространении в условиях атмосферной турбулентности и выработку управляющих сигналов для коррекции искажений волнового фронта в реальном масштабе времени на вертикальных атмосферных трассах. Показано, что на таких трассах, взамен вертикальных профилей интенсивности турбулентности и скорости ветра, можно использовать усредненные величины, а именно моменты скорости ветра и параметр Фрида, получаемые по данным зондирования или с использованием предварительно созданных моделей атмосферы.

**Ключевые слова:** атмосферная турбулентность, модели спектра турбулентности, адаптивная оптика, алгоритмы.

### Введение

В настоящее время активно развиваются методы фазового и амплитудно-фазового управления в системах адаптивной оптики (АО). Причем эти методы применяются как для наземных систем передачи энергии и информации лазерным пучком, так и для астрономических инструментов. Одним из путей повышения эффективности таких систем является развитие алгоритмов, использующих различного рода прогнозирование флуктуаций корректируемых искажений волнового фронта [1, 2]. В настоящей работе анализируются алгоритмы фазовой адаптивной коррекции, которые учитывают эволюцию волнового фронта, обусловленного ветровым движением турбулентности поперек трассы распространения оптических волн на неоднородных атмосферных трассах.

### Обоснование применения прогнозирующего алгоритма коррекции

Известно, что атмосферная турбулентность представляет собой случайный процесс со стационарными первыми приращениями [3]. Поэтому эволюцию как самой турбулентности, так и обусловленных ее фазовых искажений  $S(\vec{\rho}, t)$  в плоской оптической волне, прошедшей слой атмосферной турбулентности, соответственно можно описать [3] как урезанный ряд Тейлора следующего вида:

$$S(\vec{\rho}, t + T) = S(\vec{\rho}, t) + \frac{dS}{dt} T, \quad (1)$$

где  $\vec{\rho} = (x, y)$  – двумерный вектор для произвольной точки оптического поля;  $t$  – текущее время;  $T$  – достаточно короткий интервал времени.

Применив гипотезу [3] «замороженной турбулентности», временную производную флуктуаций фазы  $\frac{dS}{dt}$  можно записать как скалярное произведение двумерного вектора скорости ветра  $\vec{V}$  и пространственного градиента фазы  $\nabla_{\rho} S(\vec{\rho}, t)$ , т.е.

$$\frac{dS}{dt} = \nabla_{\rho} S \vec{V}. \quad (2)$$

А поскольку мы рассматриваем фазовые искажения в некоторой фиксированной плоскости ( $Z = \text{const}$ ), то в (2) градиент фазы может быть представлен как двумерный вектор, и тогда

$$\nabla_{\rho} S \vec{V} = \frac{\partial S}{\partial x} V_x + \frac{\partial S}{\partial y} V_y. \quad (3)$$

\* Развитие концепции прогнозирующих алгоритмов было выполнено в рамках госзадания Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, численные расчеты выполнены при финансовой поддержке проекта РНФ № 23-42-00043.