

С.В. Буцев

О ВЫБОРЕ ПАРАМЕТРА ГАУССОВСКОЙ ФУНКЦИИ ОТКЛИКА АДАПТИВНОГО ЗЕРКАЛА

Для гауссовской функции отклика адаптивного зеркала найдено отношение радиуса деформации к расстоянию между приводами, при котором достигается наилучшая аппроксимация различных видов волновых фронтов.

Гибкое адаптивное зеркало можно считать наиболее важным элементом системы коррекции искажений волнового фронта. Один из главных вопросов, возникающих при проектировании данных зеркал, заключается в выборе вида функции отклика, поскольку с его решением тесно связана проблема точности аппроксимации волнового фронта и, как следствие, возможность выбора минимального количества независимых каналов управления зеркалом необходимого для достижения заданной точности коррекции.

Выбору вида функций отклика адаптивных зеркал посвящен целый ряд работ [1, 2 и др.]. Проведенные в них исследования позволяют сделать вывод о том, что гибкое адаптивное зеркало зонального управления с гауссовской функцией отклика $f(\rho) = \exp(-\rho^2/r^2)$ (ρ — вектор нормированных координат, определяющих положение данной точки относительно центра привода, r — радиус деформации участка поверхности адаптивного зеркала) позволяет получить минимальную ошибку аппроксимации различных видов волновых фронтов. Рассмотрим вопрос, связанный с выбором наиболее оптимального отношения радиуса деформации r к расстоянию между приводами ρ для данной функции отклика.

Вследствие того, что искажения волнового фронта довольно часто описываются совокупностью известных фазовых распределений, в частности полиномами Цернике [3], то сначала проведем исследование качества функционирования функции отклика по статистической коррекции фазовых искажений. С этой целью решалась задача наилучшей в среднеквадратическом смысле аппроксимации первых четырех полиномов Цернике $Z_j(\rho)$. Ошибка аппроксимации вычислялась по формуле

$$\varepsilon_j = \left(\frac{1}{S} \int \left(Z_j(\rho) - \sum_{i=1}^{N^2} a_i f_i(\rho) \right)^2 d^2\rho \right)^{1/2},$$

где S — площадь апертуры; a_i — амплитуда сигнала управления i -м приводом. Предполагалось, что приводы расположены в пределах круглой апертуры в углах двумерной квадратной решетки с шагом ρ .

Графики ошибки аппроксимации гауссовской функцией отклика первых четырех полиномов Цернике в зависимости от отношения r/ρ приведены на рис. 1. Видно, что минимум ошибки аппроксимации различных полиномов Цернике достигается при отношении $r/\rho = 0,6$.

В реальных условиях волновой фронт проходящей световой волны является случайным полем, поэтому не всегда целесообразно пытаться аппроксимировать с помощью функций отклика полиномы Цернике или какую-либо систему функций. Имеет смысл выяснить, насколько хорошо функция отклика адаптивного зеркала способна компенсировать случайные фазовые искажения, обусловленные турбулентной атмосферой. Так как в этом случае приходится иметь дело с бесконечным множеством случайных функций и требуется скомпенсировать искажения различных типов, то при анализе необходимо использовать статистический подход.

Основой для исследований будем считать гипотезу о том, что адаптивное зеркало является фильтром пространственных частот [2, 4]. Тогда остаточная фазовая ошибка коррекции АФ, обусловленная ограниченной шириной полосы пропускания данного фильтра, будет иметь вид

$$\Delta\Phi(\rho) = \Phi(\rho) - \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \Phi(\rho') f(\rho - \rho') d^2\rho'}{\int_{-\infty}^{\infty} f(\rho) d^2\rho}, \quad (1)$$

где $\Phi(\rho)$ — фазовое распределение на приемной апертуре. Дисперсия остаточной фазовой ошибки коррекции может быть найдена путем интегрирования по пространственным частотам

$$d = \int_{-\infty}^{\infty} \Phi(\mathbf{x}) \left| 1 - \frac{(2\pi)^2 f_{\mathbf{x}}(\mathbf{x})}{\int_{-\infty}^{\infty} f(\rho) d^2\rho} \right|^2 d^2\mathbf{x}, \quad (2)$$

где $\Phi(\mathbf{x})$ — спектральная плотность фазовых искажений; $f_{\mathbf{x}}(\mathbf{x})$ — Фурье-образ функции отклика; \mathbf{x} — вектор пространственных частот.

Интегрирование выражения (2) проводилось с использованием численных методов на ЭВМ для случая, когда спектральная плотность фазовых флуктуаций, обусловленная атмосферной турбулентностью, равна [5]

$$\Phi(\mathbf{x}) \approx 0,123 \rho_0^{-5,3} x^{-11,3},$$

где ρ_0 — радиус пространственной когерентности.

Результаты интегрирования показали, что дисперсия остаточной фазовой ошибки хорошо аппроксимируется соотношением

$$d = \alpha (r/\rho_0)^{5/3},$$

где α — коэффициент, значения которого для различных отношений r/ρ приведены в таблице. Характерное семейство зависимостей дисперсии остаточной фазовой ошибки от $(\rho/\rho_0)^{5/3}$ приведено на рис. 2. Видно, что при отношении $r/\rho = 0,6$ гауссовская функция отклика позволяет более точно аппроксимировать случайные фазовые искажения.

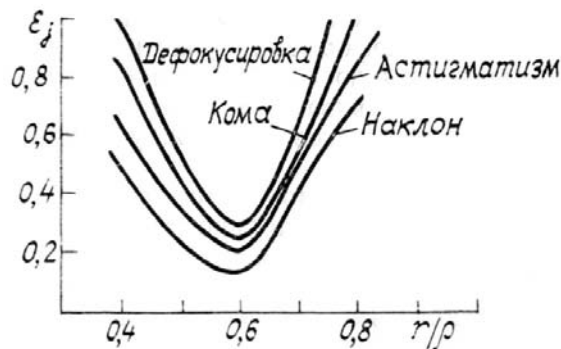


Рис. 1

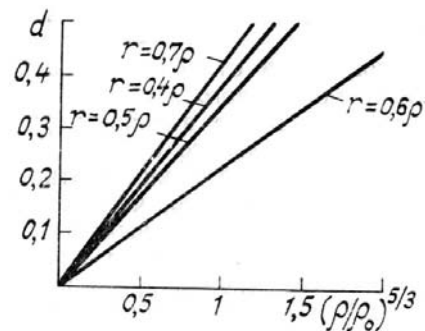


Рис. 2

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что при конструировании адаптивного зеркала нужно учитывать, что наибольшую точность аппроксимации различных видов искажений волнового фронта дает гауссовская функция отклика

r/ρ	0,4	0,5	0,6	0,7
α	1,78	1,11	0,54	0,70

с отношением радиуса деформации участка поверхности к расстоянию между приводами, равному 0,6.

1. Hadgin R. // J. Opt. Soc. Amer. 1977. V. 67. № 4. P. 393.
2. Тараненко В. Г. // Радиотехника и электроника. 1984. Т. 29. № 8. С. 1510.
3. Буцев С. В., Хисматуллин В. Ш. // Оптика атмосферы. 1989. Т. 2. № 2. С. 222.
4. Тараненко В. Г., Горохов Ю. Г., Романюк Н. С. // Зарубежная радиоэлектроника. 1982. № 8. С. 19.
5. Татарский В. И. Распространение волн в турбулентной атмосфере. М.: Наука 1967. 548 с.

Поступило в редакцию
31 июля 1989 г.

S. V. Butsev. **On the Choice of a Parameter for the Gaussian Type Response Function of the Adaptive Mirror.**

The ratio of deformation radius to the spacing between the drives is found which provides the best approximation of different wave front types for the adaptive mirror with the Gaussian response function.