«Оптика атмосферы и океана», **9**, N 3 (1996)

АДАПТИВНАЯ ОПТИКА

УДК 535.8

Д. А. Безуглов

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ АДАПТИВНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ АПЕРТУРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ С МНОГОКАНАЛЬНОЙ ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

На базе моментного описания шумов в каналах управления адаптивной оптической системы получены аналитические выражения для критерия Штреля. Проанализировано влияние гауссовских коррелированных и некоррелированных, а также пуассоновских шумов на качество функционирования адаптивной оптической системы для случаев применения гибкого и сегментированного зеркал. Показано, что критерий Штреля нечувствителен к моменту α_1 шумов в каналах управления.

1. Введение

При решении задач оптической связи и локации в условиях турбулентной атмосферы для коррекции фазового фронта используются адаптивные оптические системы апертурного зондирования. Апертура адаптивной оптической системы при этом делится на m субапертур, каждая из которых осуществляет пространственную модуляцию фазы падающей на нее волны. Пробные воздействия обычно задаются одновременно на всех субапертурах. В качестве управляющих сигналов в системе с многоканальной фазовой модуляцией обычно используют следующее разложение функционала качества в ряд Тейлора [1]:

$$I = A^2\left[N + J_0^2(a_0)\sum_{i=1}^{m}\cos(\beta_i - \beta_j)\right] - 4\,A^2 J_0(a_0)\,J_1(a_0)\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{m}\sin(\omega_i\,t)\,\sin(\beta_i - \beta_j) +$$

$$+\,4\,A^2 J_0(a_0)\,J_2(a_0)\sum_{i=1}^{m}\cos(2\omega_i\,t)\,\cos(\beta_i - \beta_j) + \dots\,, \qquad (1)$$

где I – интенсивность на точечном фотодетекторе; $J_{0,1,2}$ – функции Бесселя; a_0, ω_i – амплитуда и частота пробных воздействий; β_j – фаза на j-й субапертуре; m – число каналов управления адаптивной оптической системы.

В реальных системах для организации управления обычно используют [2] второй член разложения (1), выделенный системой полосовых фильтров. Очевидно, что на выходе фильтра наряду с полезным сигналом **X** присутствуют шумы. Таким образом, на адаптивное зеркало действует вектор управляющих сигналов **Y**:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{X} + \mathbf{n}, \qquad (2)$$

где **n** – вектор аддитивных шумов с известными моментными характеристиками; **X** – вектор управляющих сигналов, вычисленный в соответствии с выражением

$$\mathbf{X} = \mathrm{grad}\,I(\mathbf{B}) = \frac{\partial I}{\partial \beta_i};\quad i = \overline{1, m}\,;\quad \mathbf{B} = \{\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_m\}. \qquad (3)$$

Элементом адаптивной оптической системы, непосредственно принимающим участие в процессе компенсации нестационарных фазовых искажений, является управляемое зеркало. Разработанные к настоящему времени зеркала можно условно классифицировать на [3] гибкие и сегментированные. Среди гибких зеркал различают мембранные, имеющие функции отклика, и локализованные в окрестности привода. На базе пьезоэлектрических пластин разработаны гибкие зеркала, которые имеют функции отклика, достаточно близкие к системе полиномов Цернике. Несмотря на такое разнообразие рассматриваемых зеркал, решение задачи их оптимизации в случае, когда они обладают достаточным быстродействием и динамической ошибкой можно пренебречь, сводится к минимизации суммы дисперсии ошибки аппроксимации фазового фронта σ_a^2 и дисперсии шумовой ошибки σ_c^2:

$$\min(\sigma_a^2 + \sigma_c^2). \tag{4}$$

Наибольшие трудности при решении данной задачи связаны с оценкой влияния шумовой ошибки на качество функционирования адаптивной оптической системы при наличии в каналах управления последней шумов различной природы. В качестве критерия эффективности в данном случае целесообразно использовать критерий Штреля. При этом необходимо учитывать, что в работе [4] показано, что критерий Штреля можно использовать лишь в случае, когда остаточная ошибка аппроксимации фазового фронта не превышает $\lambda/8 - \lambda/16$, это соответствует случаю

$$\sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_c^2} < \lambda/8, \tag{5}$$

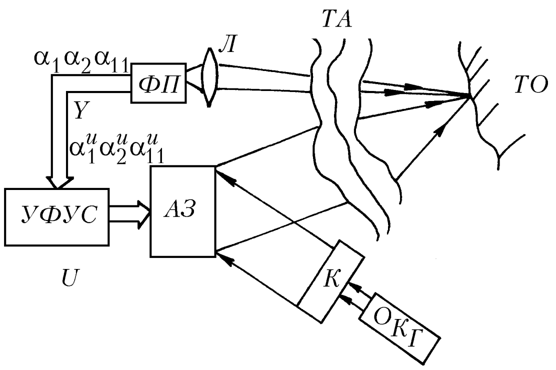
где λ – длина волны оптического излучения.

К настоящему времени задача вычисления критерия Штреля для адаптивного зеркала решена только для случая, когда **n** – гауссовский шум [2]. В связи с тем, что в системе апертурного зондирования вектор управляющих воздействий **Y** формируется по результатам анализа распределения интенсивности, статистическое описание шумов, сопровождающих процесс регистрации оптического излучения, подчиняется закону Пуассона [5]. Разработка соответствующего метода позволит решить задачу оценки влияния таких шумов на эффективность функционирования адаптивной оптической системы.

Таким образом, задача вычисления явного аналитического выражения для критерия Штреля адаптивной оптической системы апертурного зондирования является актуальной для такого случая.

2. Вывод основных соотношений

Рассмотрим задачу в следующей постановке. Адаптивная оптическая система апертурного зондирования с многоканальной фазовой модуляцией [6] фокусирует излучение на точечном отражателе (рисунок). С выхода системы полосовых фильтров, выделяющих сигналы, пропорциональные градиенту интенсивности (3), управляющие сигналы поступают на вход подсистемы формирования управляющих воздействий. Управляющие воздействия затем подаются на вход зеркала адаптивной оптической системы. Предположим, что нам априорно известны статистические характеристики шумов на выходе системы полосовых фильтров α_1, α_{11}, α_2. При расчете конструктивных параметров адаптивной оптической системы они могут быть оценены известными методами [5].



Адаптивная оптическая система с многоканальной фазовой модуляцией: *Л* – линза, *ТА* – турбулентная атмосфера, *ТО* – точечный отражатель, *ОКГ* – оптический квантовый генератор, *К* – коллиматор, *АЗ* – адаптивное зеркало, *УФУС* – устройство формирования управляющих сигналов, *ФП* – фотоприемник

В работах [1, 2] рассматривается алгоритм апертурного зондирования, предусматривающий выделение системой полосовых фильтров сигнала вида

$$x_{ij} = \sum_{j=1}^{m} \sin(\beta_i - \beta_j), \tag{6}$$

где x_{ij} – управляющий сигнал j-го канала на i-м шаге.

При реализации алгоритма апертурного зондирования, основанного на учете второго члена разложения (1), в соответствии с выражением (6) возникают проблемы, связанные, во-первых, с нелинейной зависимостью критерия качества функционирования системы (1) от координат управления и, во-вторых, с зависимостью управляющего сигнала в каждом канале управления от управляющих сигналов в остальных каналах управления. В работах [6 – 8] показано, что наиболее эффективным с точки зрения быстродействия в таком случае является алгоритм вида

$$\mathbf{U}_{i+1} = \mathbf{U}_i + \mathbf{C}^{-1}\,\mathbf{Y}_i\,, \tag{7}$$

где $\mathbf{U}_i$ – вектор искомых фаз на i-м шаге управления адаптивным зеркалом; $\mathbf{C}$ – матрица коэффициентов размером $m \times m$ с элементами:

$$c_{nk} = \begin{cases} m & \text{при } n = k; \\ -1 & \text{при } n \neq k; \end{cases}$$

$\mathbf{C}^{-1}$ – матрица, обратная $\mathbf{C}$, с элементами:

$$c'_{nk} = \begin{cases} 2/(m+1) & \text{при } n = k; \\ 1/(m+1) & \text{при } n \neq k. \end{cases}$$

Рассмотрим следующее выражение, описывающее случай наличия шумов в каналах управления адаптивной оптической системы:

$$\mathbf{U}_{i+1} = \mathbf{U}_i + \mathbf{C}^{-1}\,(\mathbf{X}_i + \mathbf{n}). \tag{8}$$

Так как моменты α_1, α_{11}, α_2 системы случайных величин $\mathbf{n}$ априорно известны, с учетом линейности алгоритма и аддитивности шумов найдем соответствующие моменты α_1^u, α_{11}^u, α_2^u для $\mathbf{U}$ при $\mathbf{X} = 0$. Здесь и в дальнейшем верхний индекс у моментов будет обозначать случайную величину, а нижний – порядок моментов. Таким образом, момент первого порядка α_1^u будет равен:

$$\alpha_1^u = \left\langle \frac{1}{m+1}\,(2n_1 + n_2 + n_3 + \ldots + n_m) \right\rangle = \alpha_1. \tag{9}$$

Угловыми скобками здесь и в дальнейшем будем обозначать усреднение по множеству реализаций. Аналогичным образом получим

$$\alpha_2^u = \left\langle \frac{1}{m+1}\,(2n_1 + n_2 + n_3 + \ldots + n_m)^2 \right\rangle = \frac{(m+3)\,\alpha_2 + (m^2 + m + 2)\,\alpha_{11}}{(m+1)^2}\,; \tag{10}$$

$$\alpha_{11}^u = \left\langle \frac{1}{(m+1)^2}(2n_1 + n_2 + n_3 + \ldots + n_m)\,(n_1 + 2n_2 + n_3 + \ldots + n_m) \right\rangle = \frac{(m+2)\,\alpha_2 + (m^2 - 2m + 3)\,\alpha_{11}}{(m+1)^2}\,. \tag{11}$$

Зная α_1^u, α_2^u, легко найти дисперсию шумов на выходе устройства формирования управляющих сигналов системы апертурного зондирования:

$$D_{\text{вых}} = \alpha_2^u - (\alpha_1^u)^2 = \frac{(m+3)\,\alpha_2 + (m^2 + m + 2)\,\alpha_{11}\,(m+1)^2\,\alpha_1}{(m+1)^2}\,. \tag{12}$$

Рассмотрим подробнее выражение (11). Очевидно, что минимум дисперсии $D_{\text{вых}}$ достигается при α_{11}^u, $\alpha_1^u \to 0$, т.е. в том случае, когда в каналах управления действуют некоррелированные шумы с нулевым математическим ожиданием. Очевидно, что таким характеристикам соответствуют тепловые гауссовские шумы. В самом деле, при $m \gg 1$

$$\lim_{\alpha_{11},\alpha_1 \to 0} D_{\text{вых}} = \frac{(m+3)\alpha_2 + (m^2 + m + 2)\alpha_{11} + (m+1)^2\alpha_1}{(m+1)^2} \approx \frac{\alpha_2}{(m+1)}. \tag{13}$$

В случае, если в каналах управления действуют только дробовые некоррелированные пуассоновские шумы, дисперсия $D_{вых}$ значительно увеличивается:

$$\lim_{\alpha_{11}\to 0} D_{вых} = \frac{(m+3)\,\alpha_2 + (m^2+m+2)\,\alpha_{11} + (m+1)^2\,\alpha_1}{(m+1)^2} \approx \alpha_1. \tag{14}$$

Коэффициент корреляции выходного сигнала α_{11}^{u} даже при некоррелированности входных шумов **n** не равен нулю:

$$\lim_{\alpha_{11}\to 0} \alpha_{11}^{u} = \frac{(m+2)\,\alpha_2 + (m^2-2m+3)\,\alpha_{11}}{(m+1)^2} \approx \frac{\alpha_2}{(m+1)}. \tag{15}$$

Главный вывод, который следует из анализа выражения (12), состоит в том, что даже в случае некоррелированности шумов на входе системы формирования управляющих воздействий шумы на входе адаптивного зеркала всегда будут коррелированы.

Получим выражение для критерия Штреля адаптивной оптической системы. Пусть плоский фазовый фронт падает на поверхность адаптивного зеркала. При фокусировке излучения в вакууме в плоскости выходной апертуры формируется сферическая волна, сходящаяся к фокусу. Согласно принципу Гюйгенса–Френеля комплексная амплитуда поля в фокусе будет равна:

$$A = \int_s A_0\, d^2 r, \tag{16}$$

где A_0 – комплексная амплитуда излучаемой волны, которая предполагается постоянной в пределах апертуры оптической системы; s – площадь апертуры оптической системы адаптивного зеркала.

Если излучаемый волновой фронт искажен за счет воздействия на управляющие приводы зеркала вектора шума **n**, его отклонение от идеальной формы будет $\varphi(r)$. Фактическая амплитуда в фокусе будет равна:

$$A' = \int_s A_0 \exp(\varphi(r))\, d^2 r. \tag{17}$$

Критерий Штреля, равный отношению интенсивности в фокусе реальной системы к интенсивности в системе без искажений, запишем в следующем виде:

$$\mathrm{St} = \frac{I}{I_0} = \frac{\langle |A' A'^*| \rangle}{|A_0 A_0^*|}, \tag{18}$$

где I_0 – интенсивность излучения в фокусе линзы для идеальной оптической системы; I – интенсивность излучения в фокусе линзы при наличии шумов в каналах управления.

Выражение (18) можно записать в следующем виде:

$$\mathrm{St} = \frac{1}{s^2} \iint_s \langle \exp\{i\,\varphi(r_1) - i\,\varphi(r_2)\}\rangle\, d^2 r_1\, d^2 r_2 = \frac{1}{s^2} \times$$

$$\times \iint_s \langle \frac{|A(\cos(\varphi(r_1)) + i\sin(\varphi(r_1)))\, A(\cos(\varphi(r_2)) - i\sin(\varphi(r_2)))|}{|A\,A|} \rangle\, d^2 r_1\, d^2 r_2 =$$

$$= \frac{1}{s^2} \iint_s \langle \sqrt{(\cos^2(\varphi(r_1)-\varphi(r_2)) - \sin^2(\varphi(r_1)-\varphi(r_2)))} \rangle\, d^2 r_1\, d^2 r_2. \tag{19}$$

С учетом малости величин $\varphi(r_1)$, $\varphi(r_2)$ вторым членом в выражении (19) можно пренебречь. Разложив выражение (19) в ряд Тейлора и сохранив только лишь первые два члена, получим

$$\mathrm{St} = 1 - \frac{1}{s^2} \iint_s \frac{\langle (\varphi(r_1) - \varphi(r_2))^2 \rangle}{2}\, d^2 r_1\, d^2 r_2. \tag{20}$$

Для дальнейшего рассмотрения введем в пространстве P систему ортонормированных функций $\mathbf{Z}$ со скалярным произведением, таких, что

$$\{z_i(r)\, z_j(r)\} = \int\limits_s z_i(r)\, z_j(r)\, d^2 r$$

– скалярное произведение;

$$\{z_i(r)\, z_j(r)\} = 0 \qquad \text{при } i \neq j$$
$$\text{при } i = j \qquad (21)$$

– условие ортонормированности.

Зеркало адаптивной оптической системы будем описывать системой функций отклика $S_i(r)$, из пространства P, таких, что

$$\varphi(r) = \sum_{i=1}^{m} S_i(r)\, x_i, \qquad (22)$$

где $\varphi(r)$ – отклик зеркала при воздействии на него вектора управляющих воздействий $\mathbf{X}$. Подставив (22) в (20), получим:

$$\mathrm{St} = 1 - \frac{1}{2s^2} \iint\limits_s \left\langle \left(\sum_{i=1}^{m} S_i(r_1)\, n_i - \sum_{j=1}^{m} S_j(r_2)\, n_j \right)^2 \right\rangle d^2 r_1\, d^2 r_2. \qquad (23)$$

3. Сегментированное зеркало

Рассмотрим подробнее структуру выражения (22) для сегментированного зеркала. Система функций S_c отклика такого зеркала удовлетворяет условию (20), и для таких функций будем иметь

$$S_{ci}(r) = 1 \quad \text{при} \quad r \in \Omega_i, \qquad (24)$$

Ω_i – площадь i-й субапертуры зеркала, $\Omega_i = S/m$.

Критерий Штреля запишется в следующем виде:

$$\mathrm{St} = 1 - \frac{1}{2s^2} \iint\limits_s \left\langle \left[\sum_{i=1}^{m} S_{ci}(r_1)\, n_i \right]^2 - 2 \left[\sum_{j=1}^{m} S_{cj}(r_2)\, n_j \sum_{i=1}^{m} S_{ci}(r_1)\, n_i \right]^2 + \left[\sum_{j=1}^{m} S_{cj}(r_2)\, n_j \right]^2 \right\rangle d^2 r_1\, d^2 r_2. \qquad (25)$$

С учетом выражения (22) и $S = \Omega_i m$ будем иметь

$$\mathrm{St} = 1 - \frac{1}{2}\left[\frac{\alpha_2^u}{m\Omega} \sum_{i=1}^{m} \Omega_i - \frac{2\alpha_{11}^u}{m\Omega} \sum_{i=1}^{m} \Omega_i - \frac{\alpha_2^u}{m\Omega} \sum_{i=1}^{m} \Omega_i \right] = 1 - (\alpha_2^u - \alpha_{11}^u), \qquad (26)$$

где α_2^u, α_{11}^u – моменты случайной величины $\mathbf{U}$, определяемые с учетом выражений (8), (9), (10).

В соответствии со свойствами моментов [9]

$$\alpha_2^u - \alpha_{11}^u = (\kappa_2 + k_1^2) - (\kappa_{11} + k_1^2) = \kappa_2 - \kappa_{11}, \qquad (27)$$

где κ_2, κ_1, κ_{11} – соответствующие кумулянты случайной величины $\mathbf{U}$.

Принимая во внимание последнее выражение, соотношение (26) окончательно запишем в следующем виде:

$$\mathrm{St} = 1 - (\kappa_2 - \kappa_{11}). \qquad (28)$$

Зависимость критерия Штреля адаптивной оптической системы от статистических характеристик шумов на выходе системы полосовых фильтров можно получить, подставив в (26) выражения (8), (9), (10):

$$\mathrm{St} = 1 - (\alpha_2^u - \alpha_{11}^u) = 1 - [\alpha_2 + (3m - 1)\, \alpha_{11}]/(m + 1)^2. \qquad (29)$$

Выражение (27) можно записать в удобном для практических расчетов виде

$$St = 1 - (D_{вых} + m^2 - k), \tag{30}$$

где $D_{вых}$, m, k – соответственно дисперсия, математическое ожидание и коэффициент корреляции шумов на входе зеркала адаптивной оптической системы; $D_{вых} = \alpha_2^u - (\alpha_1^u)^2$; $m = \alpha_1^u$; $k = \alpha_{11}^u$.

Очевидно, что, положив m, $k = 0$, можно получить известное [2] равенство для критерия Штреля для гауссовских некоррелированных шумов:

$$St = 1 - D_{вых}. \tag{31}$$

4. Гибкое мембранное зеркало

Основные трудности получения удобных расчетных соотношений в данном случае заключаются в том, что, к сожалению, функции отклика гибких зеркал не отвечают требованиям соотношения (21). Обычно [10] их представляют в следующем виде:

$$S_{mi} = \exp(-a(r - r_i)^b), \tag{32}$$

где a и b – конструктивные параметры мембранного зеркала.

Для дальнейшего рассмотрения введем матрицу отклика мембранного зеркала S следующим образом [8]:

$$1/c \int_s S_{mi}\, S_{mj}\, d^2r = S_{ij}, \tag{33}$$

где c – нормировочный коэффициент, выбираемый таким образом, что диагональные элементы матрицы равны 1: $S_{ii} = 1$, $i = 1, m$.

Критерий Штреля запишется в следующем виде:

$$St = 1 - \frac{1}{2s^2} \iint_s \left\langle \left[\sum_{i=1}^{m} S_{mi}(r_1)\, n_i\right]^2 - 2\left[\sum_{j=1}^{m} S_{mj}(r_2)\, n_j \sum_{i=1}^{m} S_{mi}(r_1)\, n_i\right] + \left[\sum_{j=1}^{m} S_{mj}(r_2)\, n_j\right]^2 \right\rangle d^2r_1\, d^2r_2, \tag{34}$$

где S_{mj} – функция отклика гибкого мембранного зеркала.

С учетом (33) выражение (34) запишется следующим образом:

$$St = 1 - \left[\alpha_2^u \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{m} S_{ij} - \alpha_{11}^u \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{m} S_{ij}\right]. \tag{35}$$

Введя оператор суммирования элементов матрицы sum(∗), выражение (35) можно записать компактно в матричной форме

$$St = 1 - \left[(D_{вых} + m^2 - k)\frac{\mathrm{sum}(\mathbf{S})}{m}\right] = 1 - \left[\frac{\alpha_2 + (3m - 1)\,\alpha_{11}}{(m + 1)^2}\right]\frac{\mathrm{sum}(\mathbf{S})}{m}. \tag{36}$$

В данном выражении учтено соотношение (29). Очевидно, что если в (36) вместо S подставить единичную матрицу, являющуюся функцией отклика сегментированного зеркала, получим выражение (29):

$$\lim_{\substack{s_{ij}\to 0 \\ s_{ii}\to 1}} \left\{1 - \left[(D_{вых} + m^2 - k)\frac{\mathrm{sum}(\mathbf{S})}{m}\right]\right\} = 1 - (D_{вых} + m^2 - k). \tag{37}$$

Таким образом, выражение (37) есть обобщение (29) на случай гибкого мембранного зеркала. Анализируя выражение (37), можно сделать вывод о том, что критерий Штреля гибкого зеркала адаптивной оптической системы будет существенно зависеть от расположения приводов и вида функций отклика. При этом, используя полученное соотношение, можно достаточно легко на этапе проектирования гибкого зеркала оценить эффективность различных вариантов компоновки приводов.

Достоинством выражения (29) является то, что с его помощью можно проанализировать влияние на величину критерия Штреля как гауссовских коррелированных и некоррелированных, так и пуассоновских шумов. Так, например, в случае пуассоновских некоррелированных шумов будем иметь

$$St = 1 - (\lambda + \lambda^2)\,(\mathrm{sum}(\mathbf{S})/m), \tag{38}$$

где λ – параметр распределения Пуассона.

5. Выводы

Анализ выражений (29), (37), (38) позволяет сделать несколько достаточно важных выводов. Основной вклад в уменьшение критерия Штреля адаптивной оптической системы апертурного зондирования с многоканальной фазовой модуляцией вносит коэффициент корреляции α_{11} шумов на выходе системы полосовых фильтров. По-видимому, для уменьшения влияния шумов в каналах управления на качество функционирования адаптивной оптической системы с многоканальной фазовой модуляцией необходимо при ее разработке уделить особое внимание частотному разделению каналов управления.

Следует особо отметить, что полученные выражения (29), (37), (38) позволяют оценить вклад отдельных моментов в величину критерия Штреля. При этом оказалось, что критерий Штреля не чувствителен к моменту α_1, физический смысл которого состоит в том, что он описывает математическое ожидание вектора шума. Вероятно, это можно объяснить тем, что критерий Штреля не чувствителен к изменению средней фазы на апертуре адаптивной оптической системы. При выборе конструктивных характеристик гибкого мембранного зеркала необходимо стремиться к тому, чтобы его матрица отклика была максимально приближена к единичной $\mathbf{I} \to \mathbf{S}$. В этом случае критерий Штреля будет достигать своего максимального значения.

Из выражений (29), (37), (38) было бы ошибочно делать вывод о том, что $St \to 1$ при $m \to \infty$, так как α_2, α_{11} являются функциями m и, как следует из результатов работы [2], $\alpha_1 \sim m^4$. Поэтому при анализе всей адаптивной оптической системы в целом при варьировании числа каналов управления это необходимо учитывать.

1. О'Мира Т. // Адаптивная оптика: Пер. с англ. / Под ред. Э.А. Витриченко. М.: Мир, 1980. С. 140–162.
2. Воронцов М.А., Шмальгаузен В.И. Принципы адаптивной оптики. М.: Наука, 1985. 336 с.
3. Безуглов Д.А., Мищенко Е.Н., Мищенко С.Е. // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. N 12.
4. Пушной Л.А. // Оптика атмосферы. 1989. Т. 2. N 6. С. 628–635.
5. Солодов А.В., Солодов А.А. Статистическая динамика систем с точечными процессами. М.: Наука, 1988. 256 с.
6. А.с. 1616229 СССР, МКИ[4] JO1 J/44. Адаптивная оптическая система / Д.А. Безуглов, Е.Н. Мищенко, В.Л. Тюриков.
7. Безуглов Д.А. // Квантовая электроника. 1989. Т. 16. N 8. С. 1612–1616.
8. Безуглов Д.А. // Квантовая электроника. 1990. Т. 17. N 3. С. 370–373.
9. Малахов А.Н. Кумулянтный анализ случайных негауссовых процессов и их преобразований. М.: Сов. радио, 1978. 376 с.
10. Присон Дж., Хансен С. // Адаптивная оптика: Пер. с англ. / Под ред. Э.А. Витриченко. М.: Мир, 1980. С. 203–226.

Ростовское высшее военное командно-инженерное училище
ракетных войск им. М.И. Неделина

Поступила в редакцию
5 июня 1995 г.

D.A. Bezuglov. **Analysis of Efficiency of Adaptive Optical System for Aperture Sounding with Multichannel Phase Modulation.**

Analytic expressions for Strehl's criterion are derived based on moment description of noises in the channels of an adaptive optical system control. The influence of Gaussian correlated and uncorrelated and Poisson noises on the quality of the adaptive optical system functioning has been analysed for the case of flexible and segmented mirrors use. Strehl's criterion is shown to be insensitive to noises' α_1 moment in the control channels.