«Оптика атмосферы и океана», **5**, № 3 (1992)

АТМОСФЕРНАЯ ТУРБУЛЕНТНОСТЬ

УДК 535.2 : 621.373

Г.Я. Патрушев

ПЛОТНОСТЬ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ФЛУКТУАЦИЙ РАЗНОСТИ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ ОПТИЧЕСКИХ ПУЧКОВ В ТУРБУЛЕНТНОЙ АТМОСФЕРЕ

В предположении двумерного логарифмически-нормального распределения интенсивностей оптической волны в турбулентной атмосфере рассматривается плотность вероятностей флуктуаций разности интенсивностей. Показывается хорошее совпадение полученных из такой модели результатов с экспериментальными данными, соответствующими слабым флуктуациям интенсивности.

При измерении угловых координат объектов в условиях турбулентной атмосферы оптико-электронным моноимпульсивным методом [1] возникает вопрос о величине ошибок измерений. Атмосферная составляющая ошибок измерений исследована в равносигнальном направлении [2, 3] для пеленгационной характеристики u_1 вида

$$u_1 = \frac{I_1 - I_2}{\langle I_1\rangle + \langle I_2\rangle} = c\,(I_2 - I_1)\;,\; I_1,\, I_2 \ge 0\;,$$

где I_1, I_2 — мгновенные значения сигналов; $\langle I_1\rangle$, $\langle I_2\rangle$ — их средние значения.

Более полной характеристикой ошибки является плотность вероятностей флуктуаций пеленгационной характеристики $P(u_1)$. Искомую плотность можно получить, если известна двумерная плотность вероятностей флуктуаций интенсивностей $P(I_1, I_2)$. Исходя из имеющихся теоретических и экспериментальных [4] результатов, зададим плотность вероятностей флуктуаций интенсивности $P(I_1, I_2)$ в виде двумерного логарифмически-нормального распределения:

$$P(I_1, I_2) = \frac{I_1^{-1}\cdot I_2^{-1}}{\sqrt{1-R^2}\,2\pi\sigma_1\sigma_2}\exp\left\{-\frac{1}{2(1-R^2)}\left[\frac{(\ln I_1-\mu_1)^2}{\sigma_1^2} - 2R\,\frac{\ln I_1-\mu_1}{\sigma_1}\,\frac{\ln I_2-\mu_2}{\sigma_2} + \frac{(\ln I_2-\mu_2)^2}{\sigma_2^2}\right]\right\},$$

$$\mu_{1,2} = \langle \ln I_{1,2}\rangle, \tag{1}$$

$$\sigma_{1,2}^2 = \langle \ln^2 I_{1,2}\rangle - \mu_{1,2}^2,\; R = \langle(\ln I_1-\mu_1)\,(\ln I_2-\mu_2)\rangle/\sigma_1\sigma_2\;,$$

где $\mu_{1,2}$, $\sigma_{1,2}$, R — параметры соответствующего двумерного нормального распределения.

Исходя из выражения (1), представим плотность вероятностей разности интенсивностей $u = I_1 - I_2$ в виде

$$P(u) = \frac{1}{\sqrt{1-R^2}\,2\pi\sigma_1\sigma_2}\int\limits_{-u}^{\infty}\frac{dI_2}{(I_2+u)I_2}\exp\left\{-\frac{1}{2(1-R^2)}\right.\times$$

$$\left.\times\left[\frac{(\ln(I_2+u)-\mu_1)^2}{\sigma_1^2} - 2R\,\frac{(\ln I_2+u)-\mu_1}{\sigma_1}\,\frac{(\ln I_2-\mu_2)^2}{\sigma_2} + \frac{(\ln I_2-\mu_2)^2}{\sigma_2^2}\right]\right\},\; I_2 + u \ge 0\;. \tag{2}$$

Можно показать, что в равносигнальном направлении, когда $\mu_1 = \mu_2$, $\sigma_1 = \sigma_2$, $P(u)$ становится четной функцией.

Для сравнения полученного распределения (2) с экспериментальными данными были использованы результаты измерений статистических характеристик флуктуаций интенсивностей I_1, I_2 двух пучков, формирующих равносигнальное направление в турбулентной атмосфере [5]. В эксперименте измерялись относительные дисперсии флуктуаций интенсивностей

$$\beta_{1,2}^2 = \frac{\langle I_{1,2}^2\rangle - \langle I_{1,2}\rangle^2}{\langle I_{1,2}\rangle^2} = \frac{\sigma_{1,2}^2}{\langle I_{1,2}\rangle^2},$$

коэффициент взаимной корреляции

$$r = [\langle I_1, I_2\rangle - \langle I_1\rangle\langle I_2\rangle]/\sigma_1\sigma_2$$

и оценивалась гистограмма значений.

На рис. 1, *а*, *б* приведено сравнение экспериментальных данных, обозначенных точками, с полученным распределением (2), представленным сплошной линией для узкого коллимированного пучка, для которого имеет место как положительная, так и значимая отрицательная корреляция флуктуаций интенсивности [5].

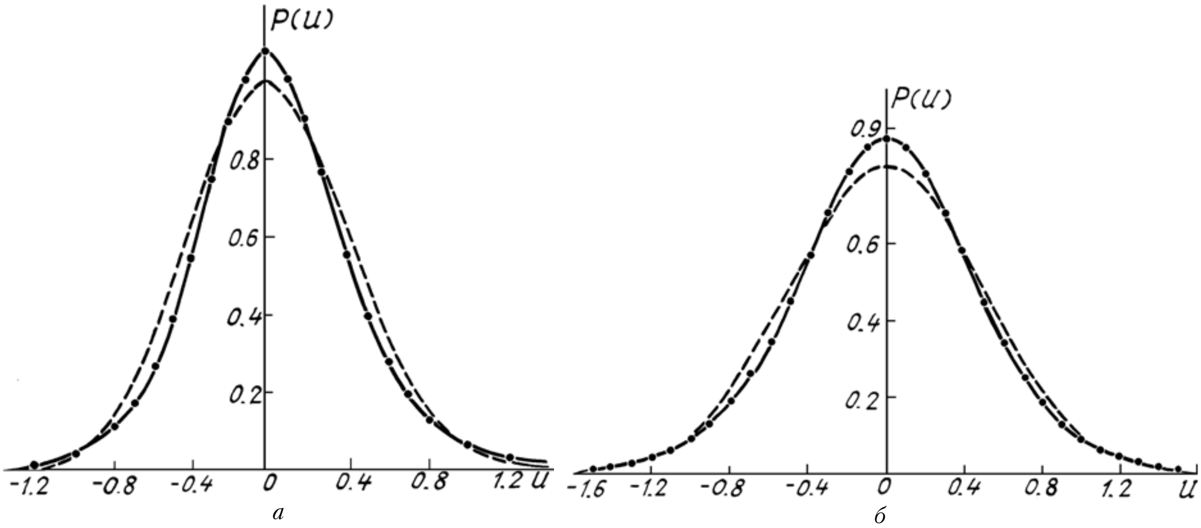

Рис. 1

При проведении сравнения предполагалось, что между измеряемыми характеристиками $\beta_{1,2}$, r и параметрами двумерного нормального распределения $\sigma_{1,2}$, R в равносигнальном направлении $\langle I_1\rangle = \langle I_2\rangle$, $\beta_1 = \beta_2$ существуют связи, характерные для двумерного логарифмически нормального распределения

$$\beta_{1,2}^2 = \exp(\sigma_{1,2}^2) - 1\ , \quad r = [\exp(R\sigma_{1,2}^2) - 1]/[\exp(\sigma_{1,2}^2) - 1].$$

Для направленных сферических волн, формирующих равносигнальное направление в турбулентной атмосфере, характерны высокие значения коэффициента взаимной корреляции r, данные для которых приведены на рис. 2. Как видно из представленных результатов, в обоих случаях наблюдается совпадение модельных (2) и экспериментальных данных. Следует также отметить, что распределение (2) имеет заметно большее модальное значение, чем нормальное, которое для тех же значений дисперсии разности σ_n^2 представлено на рисунках пунктирными линиями.

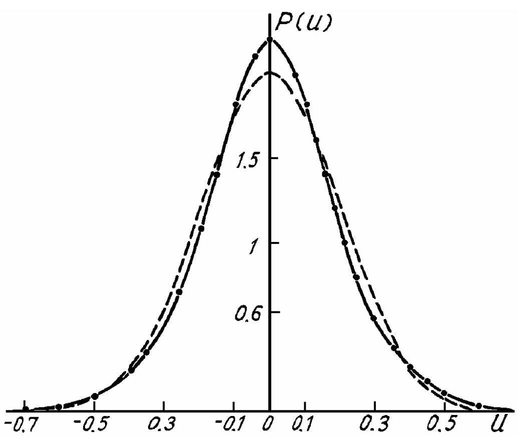

Рис. 2

Таким образом, экспериментальные результаты по плотности вероятностей разности интенсивностей согласуются с моделью двумерного логарифмического распределения интенсивностей при слабых флуктуациях.

1. Сигналы и помехи в лазерной локации //Под ред. В.Е. Зуева. М.: Радио и связь, 1985.
2. Андреев Г.А., Магид Р.М. //Изв. вузов СССР Сер. Радиофизика. 1972. Т. 15. № 1. С. 53–58.
3. Миронов В.Л., Патрушев Г.Я., Щавлев Л.И. //Распространение оптических волн в неоднородных средах /Под ред. С.С. Хмелевцова- Томск: ИОА СО АН СССР, 1976. С. 69–77.
4. Зуев В.Е., Банах В.А., Покасов В.В. Оптика турбулентной атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 270 с.
5. Миронов В.Л., Патрушев Г.Я., Покасов В.В. //Изв. вузов СССР. Сер. Радиофизика. 1975. Т. 18. № 3. С. 450–453.

Институт оптики атмосферы СО РАН,
Томск

Поступила в редакцию
28 ноября 1991 г.

G.Ya. Patrushev. **Probability Density for Fluctuations of Optical Beams Intensity Difference in the Turbulent Atmosphere.**

Based on the use of two-dimensional lognormal distribution function for the intensity of an optical wave in the turbulent atmosphere probability density of fluctuations of the intensity difference is considered. It is shown that the results obtained using this model are in a good agreement with the experimental data corresponding to conditions of weak intensity fluctuations.