

УДК 621.371.24 : 535.2

## О ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЕ СВЕТОВОГО ПУЧКА, ФОКУСИРУЕМОГО В ТУРБУЛЕНТНОЙ АТМОСФЕРЕ

А. С. Гурвич, И. А. Старобинец

Эмпирически исследуется вопрос о радиусе корреляции флуктуаций интенсивности света в фокальной плоскости сфокусированного в атмосфере светового пучка.

Получено, что величина радиуса корреляции близка к дифракционному размеру пучка в фокусе в отсутствие возмущений среды распространения. Зависимости от другого возможного параметра —  $S$ , являющегося оценкой среднеквадратичной разности фаз на апертуре пучка, — не обнаружено.

Для исследования пространственной структуры в фокальной плоскости применялась пространственная фильтрация случайного поля интенсивности с помощью сменных диафрагм различных радиусов. Такой фильтр вносит существенное ослабление относительных флуктуаций светового потока уже в том случае, если радиус диафрагмы имеет порядок радиуса корреляции флуктуаций интенсивности излучения в принимаемом пучке.

В работе в качестве источника света использовался гелий-неоновый лазер с длиной волны излучения  $\lambda = 0,63$  мкм, работавший в режиме осевых колебаний. Излучение лазера фокусировалось зеркальнолинзовой системой с фокусным расстоянием  $L = 650$  м в плоскость приемника. Измерения проводились при трех значениях исходного радиуса пучка  $a_0 = 4$  см; 7,5 см; 15 см.

На приемном конце трассы поток света  $P$ , пропущенный диафрагмой радиусом  $r$ , собирался объективом на фотоэлектрический умножитель ФЭУ-38. Ток ФЭУ поступал на логарифмический усилитель с положительной пропускания от 0 до 15000 гц, напряжение с выхода которого подавалось на квадратор. В результате определялась дисперсия  $\sigma_{\ln P}^2 = (\ln P - \ln P)^2$  логарифма пропускаемого диафрагмой светового потока при временном усреднении за 100 секунд. В каждой серии измерений радиус диафрагмы изменялся от 0,15 мм до 25 мм. За счет атмосферной турбулентности радиус пучка в фокальной плоскости, определенный по половинной мощности, был более 15 мм. Измерения при  $r = 0,15$  мм можно считать точечными, так как дальнейшее уменьшение приемной апертуры не влияло на величину  $\sigma_{\ln P}^2$ . Дисперсия  $\sigma_{\ln P}^2$ , соответствующая  $r = 0,15$  мм, измерялась в течение каждой серии последовательно с каждым значением величины  $\sigma_{\ln P}^2$  для других диафрагм.

Одновременно проводились измерения структурной постоянной  $C_n$  показателя преломления воздуха на трассе. Эти данные использовались для расчета по формулам первого приближения метода плавных возмущений [1] среднеквадратичных значений флуктуаций разности фаз  $\Delta S$  в сферической световой волне, рассчитываемых на базе, равной начальному диаметру  $2a_0$  сфокусированного пучка. Этот параметр был выбран потому, что он может служить оценкой флуктуаций разности фаз на апертуре сфокусированного пучка. В настоящее время удовлетворитель-

ной теории флуктуаций интенсивности в фокусе не существует. Однако очевидно, что причиной возникновения флуктуаций интенсивности в фокусе являются фазовые флуктуации в пучке. Так в работах [2, 3] показано, что средняя освещенность в фокальной плоскости определяется параметром  $\Delta S$ . В работе [4] показано, что дисперсия флуктуаций освещенности в фокусе также существенно зависит от параметра  $\Delta S$ .

Значения структурной постоянной определялись по размытию дифракционной картины в фокальной плоскости линзы с фокусным расстоянием 100 см, принимающей прошедшее в атмосфере излучение от отдельного лазера [5]. Соответствующие измерения проводились на той же трассе, что и эксперименты со сфокусированным пучком.

Результаты измерений в сфокусированном пучке представлены на рис. 1 в виде зависимости величины  $G = \sigma_{\text{in } P}^2 / \sigma_{\text{in } P_0}^2$  от радиуса  $r$  приемной апертуры. Величина  $G$  характеризует действие пространственной фильтрации. Значения параметра  $\Delta S$ , имевшие место в эксперименте, приведены в табл. 1. Зависимости от величины параметра  $\Delta S$  для се-

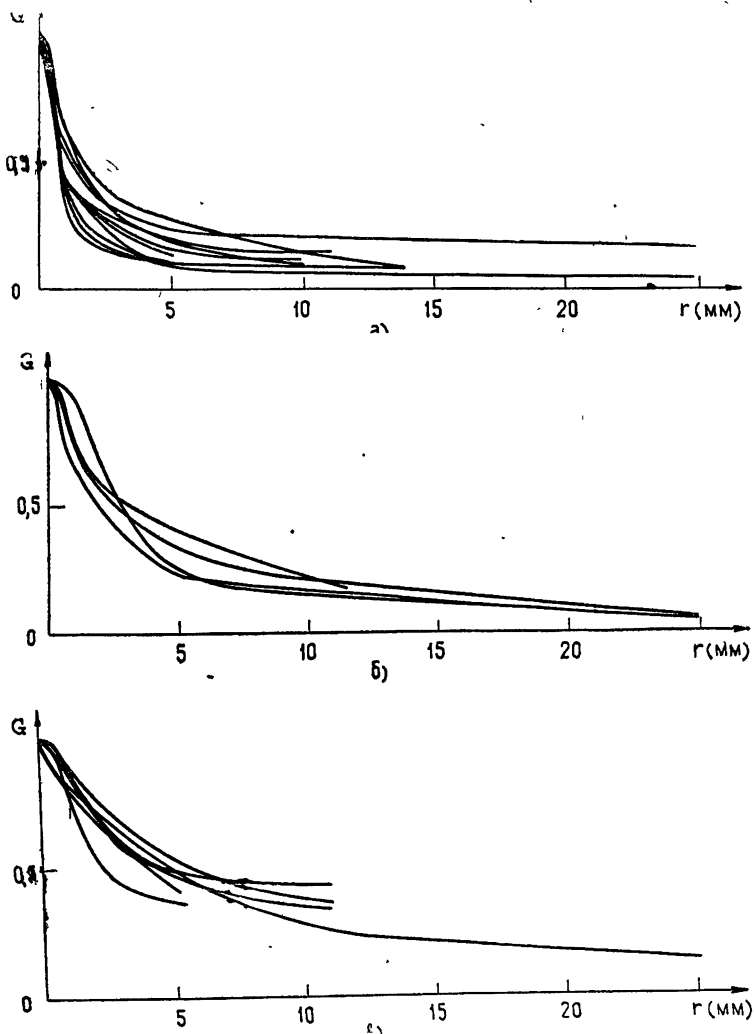


Рис. 1. Зависимость величины  $G = \sigma_{\text{in } P}^2 / \sigma_{\text{in } P_0}^2$  от диаметра апертуры приемника.  
 а)  $a_0 = 15$  см; б)  $a_0 = 7,5$  см; в)  $a_0 = 4$  см.

мейства кривых  $G(r)$  не обнаруживается. Разброс между кривыми при фиксированном начальном радиусе  $a_0$  пучка лежит в пределах возможных ошибки измерений величины  $G$ . По-видимому, при больших значениях  $\Delta S \gg 1$  и сильном размытии пучка в фокальной плоскости, которые имели место в наших измерениях, радиус корреляции интенсивности не чувствителен к флуктуациям фазы.

Таблица 1

$2a_0$ (см)	Значения $\Delta S(L, 2a_0)$
8	12÷28
15	21÷100
30	20÷130

Таблица 2

$a_0$ (см)	4	7,5	15
$\rho_I$ (мм)	4	2,3	1
$R$ (мм)	5	2,7	1,1

Однако можно отметить зависимость функции  $G(r)$  от величины начального радиуса  $a_0$  пучка. Несмотря на то, что диапазон изменения величины  $\Delta S(L, 2a_0)$  при  $a_0 = 7,5$  см лежит полностью в пределах изменения этого параметра при  $a_0 = 15$  см, все значения величины  $G$  при всех фиксированных значениях радиуса апертуры приемника больше при  $a_0 = 7,5$  см, чем при  $a_0 = 15$  см, а, в свою очередь, все кривые  $G(r)$  при  $a_0 = 4$  см лежат выше, чем при  $a_0 = 7,5$  см.

В силу этого функции  $G$  были усреднены по результатам измерений при фиксированных значениях параметров  $d$  и  $a_0$ . Результаты усреднения представлены на рис. 2. Радиус корреляции  $\rho_I$  флуктуаций интенсивности оценивался нами по тому радиусу апертуры приемника, при

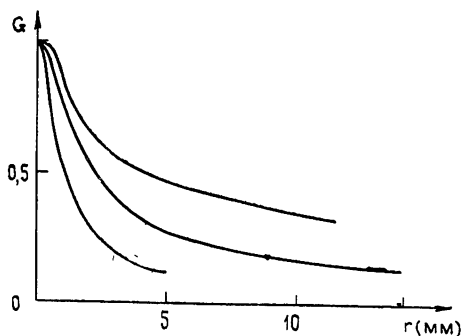


Рис. 2. Средние по результатам измерений функции  $G(r)$  для фиксированных значений начального радиуса пучка:  
1)  $a_0 = 4$  см, 2)  $a_0 = 7,5$  мм;  
3)  $a_0 = 15$  см.

котором величина  $G$  падает до уровня  $G(\rho_I) = 0,5$ . Значения  $\rho_I$  приведены в табл. 2, наряду с величинами начального радиуса  $a_0$  и дифракционного радиуса  $R = (\lambda/2a_0)L$  в фокальной плоскости сфокусированного пучка. Величина  $\rho_I$  оказывается близкой к дифракционному радиусу. Этот результат является пока чисто эмпирическим и нуждается в теоретическом количественном объяснении.

Описанная методика применялась и при измерениях на этой же трассе в коллимированном лазерном пучке с радиусом  $a_0 = 15$  см. Оказалось, что с усилением турбулентности усредняющее действие апертуры приемника проявляется сильнее. В качестве параметра, характеризующего турбулентный режим на трассе, применялась величина  $\sigma_{0I}^2 = \overline{(\ln I - \ln I_0)^2} = 1,23 C_n^2 K^{7/6} L^{11/6}$ , значение которой в эксперименте было заключено в пределах  $1 < \sigma_{0I} < 10$ .

В заключение авторы благодарят Ю. А. Назарова за проведение измерений структурной характеристики  $C_n$  показателя преломления воздуха на трассе.

## ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Татарский, Распространение волн в турбулентной атмосфере, изд. Наука, М., 1967.
2. А. И. Кон, О фокусировке света в турбулентной среде, Изв. высш. уч. зав.—Радиофизика, 13, № 1, 61 (1970).
3. В. И. Кляцкин, В. И. Татарский, Изв. высш. уч. зав.—Радиофизика, 13, № 7, 1061 (1970).
4. М. Е. Грачева, А. С. Гурвич, М. А. Каллистратова, И. А. Старобинец, Радиотехника и электроника, 15, № 6, 1290 (1970).
5. А. В. Артемьев, А. С. Гурвич, Изв. высш. уч. зав.—Радиофизика, 14, № 5, 734 (1971).

Институт физики атмосферы  
АН СССР

Поступила в редакцию  
15 февраля 1971 г.

ON SPATIAL STRUCTURE OF LIGHT BEAM IN THE TURBULENT  
ATMOSPHERE

*A. S. Gurvich, I. A. Starobinets*

The correlation radius of light intensity fluctuations in the focal plane of the light beam focused in the atmosphere is empirically investigated.

The quantity of the correlation radius is close to the diffraction beam size in the focus in the absence of the medium perturbations. The dependence versus the other possible parameter  $\Delta S$  being the value of the mean square phase difference on the beam aperture is not discovered.

---