

1. Беликович В. В., Бенедиктов Е. А., Гегманцев Г. Г., Игнатьев Ю. А., Комраков Г. П. — Письма ЖЭТФ, 1975, 22, вып 10, с. 497.
2. Беликович В. В., Бенедиктов Е. А., Иткина М. А. и др. — Изв. вузов — Радиофизика, 1977, 20, № 12, с. 1821.
3. Беликович В. В., Бенедиктов Е. А., Терина Г. И. — Изв. вузов — Радиофизика, 1978, 21, № 10, с. 1418.

Научно-исследовательский  
радиофизический институт

Поступила в редакцию  
29 сентября 1980 г

УДК 621.371 : 621.378

## ИЗМЕРЕНИЕ ФЛУКТУАЦИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ В ЧАСТИЧНО-КОГЕРЕНТНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ПУЧКАХ

*В. В. Боронов, Г. И. Занданова, В. Л. Миронов, В. Н. Поплаухин,  
Э. А. Трубацев*

В настоящее время наиболее полно исследована дисперсия флуктуаций интенсивности одномодовых лазерных пучков. Результаты этих исследований обобщены в [1]. Основной закономерностью, установленной в этих исследованиях, является то, что с увеличением длины трассы и интенсивности турбулентности воздуха относительная дисперсия флуктуаций интенсивности вначале возрастает, а затем насыщается на некотором уровне. Исследования дисперсии флуктуаций интенсивности многомодовых лазерных пучков в атмосфере проводились пока только экспериментально [2-4]. В работах [2, 3] измерения относительной дисперсии логарифма интенсивности многомодового излучения проводились с импульсными рубиновыми лазерами ( $\lambda = 0,69 \text{ мк}$ ) в расходящихся пучках, а в [4] — в пространственно-ограниченных коллимированных пучках с выходной апертурой передатчика, равной 11 см с использованием He-Ne лазера ( $\lambda = 0,63 \text{ мк}$ ). Авторами [2-4] отмечен существенно низкий уровень насыщения дисперсии флуктуаций интенсивности многомодового излучения по сравнению с одномодовым излучением. Теоретическая оценка, проведенная в [5], показала, что с увеличением масштаба пространственной когерентности в плоской и сферической волнах дисперсия сильных флуктуаций интенсивности возрастает. Поэтому можно предположить, что радиус когерентности источника является существенным параметром, определяющим значение дисперсии в области сильных флуктуаций интенсивности.

В связи с этим нами ставилась задача выяснения зависимости относительной дисперсии флуктуаций интенсивности многомодового лазерного излучения от исходной степени когерентности источника излучения в области сильных флуктуаций интенсивности.

Измерения проводились на горизонтальных трассах протяженностью 400 и 1800 м в узких ( $\Omega = 1$ ) и широких ( $\Omega = 90$ ) коллимированных пучках. Здесь  $\Omega = ka^2/x$  — дифракционный параметр пучка,  $k = 2\pi/\lambda$  — волновое число,  $\lambda$  — длина волны,  $a$  — эффективный радиус пучка в плоскости излучения,  $x$  — длина трассы. В качестве передатчика использовался He-Ne лазер ЛГ-126 ( $\lambda = 0,63 \text{ мк}$ ), работавший в многомодовом режиме. Все измерения относительной дисперсии  $\beta^2$  сопровождались синхронными измерениями структурной характеристики  $C_n^2$  оптическим методом [6-8].

Согласно работе [9], число поперечных типов колебаний  $N$  (когда  $N \gg 1$ ) можно оценить по формуле  $N \approx a^2/\rho_k^2$ , где  $\rho_k$  — исходный радиус когерентности на выходной апертуре многомодового лазера. В нашем случае во время измерений  $\rho_k$  постоянно контролировался по методике [7].

Измерения относительной дисперсии флуктуаций интенсивности в зависимости от турбулентного параметра  $\beta_0$  проводились как в условиях слабых ( $x = 400 \text{ м}$ ), так и в условиях сильных ( $x = 1800 \text{ м}$ ) флуктуаций интенсивности ( $\beta_0^2 = 1,23 C_n^2 k^{7/6} x^{11/6}$ )

Величина относительной дисперсии  $\beta^2$  определялась по формуле:

$$\beta^2 = \overline{I^2} - \overline{I}^2/\overline{I}^2,$$

где  $\overline{I}$  и  $\overline{I^2}$  — соответственно средние и среднеквадратичные значения сигнала, усредненные за 5 минут.

Аппаратура и методика измерений зависимости  $\beta = \beta(\beta_0)$  описаны в [10]. Динамический диапазон приемного тракта составлял 50 дБ, полоса пропускания частот  $\Delta F = 0 + 10 \text{ кГц}$ . Погрешность измерений не превышала 25%.

Экспериментальные результаты измерений среднеквадратичных значений флуктуаций интенсивности на оси пучка в зависимости от условий турбулентности, характеризующих параметром  $\beta_0$ , представлены на рис. 1. Здесь каждая точка — результат усреднения не менее десяти пятиминутных значений  $\beta$ . Вертикальными линиями обозначены 95-процентные доверительные интервалы.

На рис. 1 представлены результаты измерений относительной дисперсии для узких ( $\Omega = 1$ ,  $a^2/\rho_k^2 = 0,8 \cdot 10^3$ ,  $a^2/\rho_k^2 = 2 \cdot 10^2$ , кривые 1 и 2 соответственно) многомодовых лазерных пучков с разными начальными степенями когерентности, а также для широкого ( $\Omega = 90$ ,  $a^2/\rho_k^2 = 0,8 \cdot 10^3$ , кривая 4) пучка. Здесь же для сравнения приведены результаты измерений, полученных в узком ( $\Omega = 1$ ,  $a^2/\rho_k^2 = 0$ , кривая 3) одномодовом лазерном пучке.

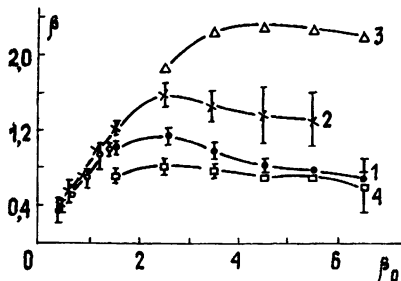


Рис. 1.

Как видно из рисунка, уровень насыщения относительной дисперсии  $\beta^2$  для когерентного пучка значительно выше, чем в случае частично когерентного излучения (кривые 1 и 3). При этом уровень насыщения относительной дисперсии снижается с ухудшением начальной степени когерентности излучения (кривые 1 и 2). Из сравнения кривых 1 и 4 для узкого ( $\Omega = 1$ ) и широкого ( $\Omega = 90$ ) пучков с равными начальными степенями когерентности ( $a^2/\rho_k^2 = 0,8 \cdot 10^3$ ) видно, что уровень насыщения относительной дисперсии имеет слабую зависимость от дифракционного параметра источника.

Сопоставление результатов работ [2–4] между собой и с данными наших измерений затруднительно, поскольку в указанных выше работах не измерялась начальная степень когерентности излучения.

Таким образом, из анализа полученных экспериментальных данных следует, что дисперсия сильных флуктуаций интенсивности узкого лазерного пучка в турбулентной атмосфере зависит от начальной степени когерентности источника излучения. При этом уровень насыщения относительной дисперсии увеличивается с уменьшением числа поперечных мод лазера.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Гурвич А. С., Кон А. И., Миронов В. Л., Хмелевцов С. С. Лазерное излучение в турбулентной атмосфере — М: Наука, 1976.
- 2 Deitz P. H., Wright N. J. — J. Opt. Soc. Am., 1969, 59, № 5, p. 527.
- 3 Съедин В. Я., Хмелевцов С. С., Небольсин М. Ф. — Изв. вузов — Радиофизика, 1970, 13, № 1, с. 44.
- 4 Мордухович М. И. — Изв. вузов — Радиофизика, 1970, 13, № 2, с. 275.
- 5 Прохоров А. М., Бункин Ф. В., Гочелашвили К. С., Шишов В. И. — УФН, 1974, 114, № 3, с. 415.
- 6 Артемьев А. В., Гурвич А. С. — Изв. вузов — Радиофизика, 1971, 14, № 5, с. 734.
- 7 Беленький М. С., Кон А. И., Миронов В. Л. — Квантовая электроника, 1977, 4, № 3, с. 517.
- 8 Velen'kii M. S., Voropoev V. V., Gombоеv N. Ts., Mironov V. L. — Opt. Lett., 1980, 5, № 2, p. 67.
- 9 Арутюнян А. Г., Ахманов С. А., Голяев Ю. Д., Тункин В. Г., Чиркин А. С. — ЖЭТФ, 1973, 64, № 5, с. 1511.
- 10 Аксенов В. П., Гомбоев Н. Ц., Зубрицкий Э. В., Малыгина Г. Ф. и др. Распространение оптических волн в случайно-неоднородной атмосфере. — Новосибирск: Наука, 1979 — С. 40.
- 11 Грачева М. Е., Гурвич А. С., Кашкаров С. С., Покасов В. В. Препринт ООФАГ АН СССР. — М: 1973.