

А.Ф. Жуков, Р.Ш. Цвык, Н.А. Вострецов

УСРЕДНЯЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ПРИЕМНОЙ АПЕРТУРЫ НА ФЛУКТУАЦИИ ИНТЕНСИВНОСТИ ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА В СНЕГОПАДЕ

В сообщении приводятся результаты измерений, проведенных на трассе 130 м в слабофокусированном пучке, при различных диаметрах приемника. Показано, что дисперсия флуктуации интенсивности быстро уменьшается с увеличением диаметра приемника, причем в снегопаде уменьшается гораздо быстрее, чем в турбулентной среде.

Одним из возможных путей уменьшения флуктуации принимаемого лазерного излучения в случайной среде является увеличение диаметра приемной апертуры. Оценку этого эффекта проводят с помощью функции осреднения

$$G(R) = \{ \langle P^2 \rangle / \langle P \rangle^2 - 1 \} \{ \langle I^2 \rangle / \langle I \rangle^2 - 1 \}^{-1} = \sigma_p^2 / \sigma_I^2,$$

которая показывает, во сколько раз σ_p^2 — относительная дисперсия флуктуации мощности потока (p), прошедшего через апертуру радиусом R , меньше σ_I^2 — относительной дисперсии флуктуации интенсивности принимаемой волны, т.е. когда $R \ll R_k$, где R_k — радиус корреляции флуктуации интенсивности. Уточним, что в турбулентной среде при слабых флуктуациях $R_k \approx \sqrt{\lambda L}$ [2], а в осадках при малых значениях оптической толщи $(\tau)R_k \approx a$, т.е. близок к радиусу частиц монодисперсной среды.

Функция осреднения достаточно хорошо исследована при распространении лазерных пучков в турбулентной атмосфере [1, 2]. В то же время сделаны только первые шаги в изучении $G(R)$ при распространении в атмосферных осадках. Эта работа посвящена исследованию $G(R)$ в снегопаде.

Измерения проводились на трассе $L = 130$ м в слабо сфокусированном пучке. Дифракционный параметр пучка $\Omega = k\alpha_0^2/L = 54$, радиус кривизны волнового фронта $R_0 = -1260$ м, т.е. параметр фокусировки $X = L/R_0 = -0,1$. Здесь $k = 2\pi/\lambda$, $\lambda = 0,63$ мкм (He-Ne-лазер, ЛГ-38), α_0 — эффективный радиус пучка. Расчет $G(R)$ проводился по одновременным измерениям σ_p^2 и σ_I^2 . Для этого центральная часть пучка в плоскости приема с помощью оптического кубика со стороной 2,5 см делилась на два пучка. В одном из пучков устанавливалась точечная диафрагма (диаметром $D = 0,1$ мм) перед фотоприемником, а во втором — диаметр приемной диафрагмы дискретно менялся от 0,1 до 18 мм. Идентичность каналов измерения дисперсии была не хуже 5%. Измерялись также частотный спектр $U(f)$ и временная автокорреляционная функция $B(t)$. Методика измерений и обработки описана в [4].

На рис. 1,а приведены результаты измерения σ_p^2 при различных диаметрах приемника (σ_p^2 при $D = 18$ мм не показана, и в этом случае равна 0,0036). Точками здесь показаны средние значения $\overline{\sigma_p^2}$ по трем сериям измерений зависимости $\sigma_p^2 = f(D)$, а вертикальными линиями максимальные и минимальные значения σ_p^2 . В измерениях оптическая толщина варьировалась от 0,1 до 0,5. Мы считаем, что не только $\sigma_I^2 \sim \tau$ [4], но $\sigma_p^2 \sim \tau$ при небольших значениях оптической толщи, а поэтому вариации τ не должны существенно сказаться на зависимости $G(R)$. Максимальный размер частиц снегопада не превышал 2 мм.

На рис. 1,б приведены результаты расчета $G(R)$ по средним значениям $\overline{\sigma_p^2}$ (кривая 1). Кривая 2 на рис. 1,б, взятая из монографии Татарского [2], рассчитана для плоской волны в турбулентной атмосфере.

На рис. 1,в по горизонтальной оси отложено отношение радиуса приемника к радиусу частицы. Из рисунков видно, что дисперсия σ_p^2 быстро уменьшается с увеличением радиуса приемника. Причем функция осреднения $G(R)$ в снегопаде уменьшается гораздо быстрее с ростом R , чем в турбулентной среде. Этот факт сам по себе говорит о том, что радиус пространственной корреляции флуктуации интенсивности во время описываемых измерений в снегопаде значительно меньше величины $\sqrt{\lambda L}$, которая характерна для турбулентной атмосферы. Подчеркнем, что в условиях данного эксперимента турбулентный вклад σ_I^2 в измеренную дисперсию σ_p^2 в три и более раз меньше снегового вклада σ_p^2 при $D < 4$ мм, т.е. там, где и происходит существенное усреднение флуктуации. Поэтому логично привести сравнение экспериментальных значений $G(R)$ с расчетными для рассеивающей среды. На рис. 1,в расчетная кривая 1 взята из [3] для монодисперсной среды, радиус частиц которой равен a . Как видно из рис. 1,в, расчетная кривая 2 удовлетворительно совпадает с экспериментом при $a = 0,7$ мм, а кривая 3 получена при $a = 1$ мм. Это значение во время проведения измерений меньше максимально-

го размера частиц, равного $2a < 2 \text{ мм}$, что вполне логично, так как радиус частиц, дающих основной вклад во флуктуации, должен быть меньше a_{max} .

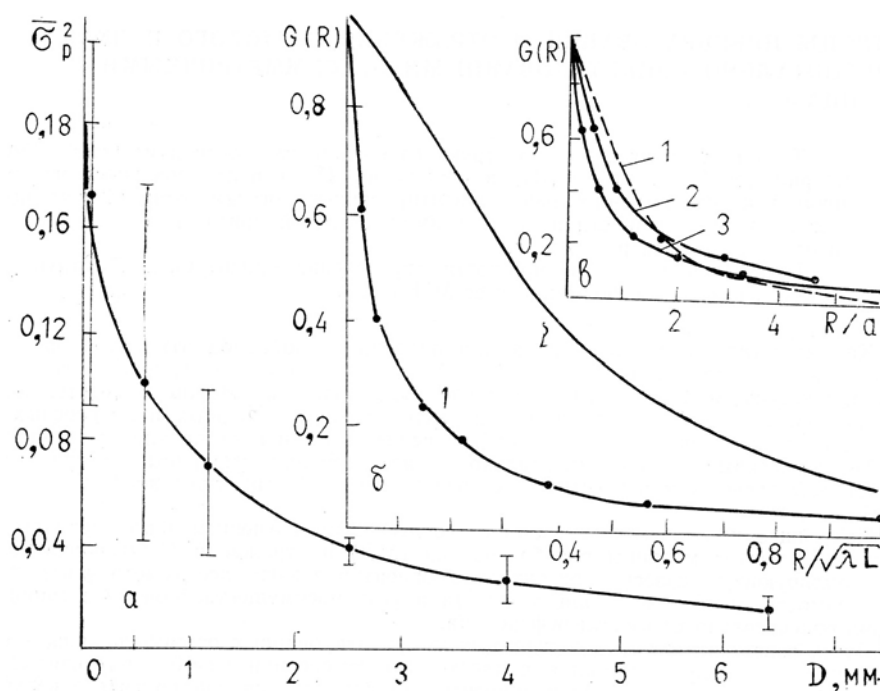


Рис. 1

Средние значения $\overline{\sigma_p^2}$, с точностью не хуже 10% описываются формулой $\overline{\sigma_p^2} = +0,08 - 0,04 \ln D$ при $\ln D = -2,30 \div 1,86$, причем D в мм. С увеличением диаметра приемника максимум в спектре флуктуации смещается в область низких частот, а время корреляции на уровне 0,5 регулярно увеличивается. Корреляционная функция имеет экспоненциальный вид.

1. Гурвич А.С., Кон А.И., Миронов В.Л., Хмелевцов С.С. Лазерное излучение в турбулентной атмосфере. — М.: Наука 1976. — 277 с.
2. Татарский В.И. Распространение волн в турбулентной атмосфере. — М.: Наука, 1967. — 548 с.
3. Лукин И.П. Флуктуации световой волны в рассеивающей среде. — Квантовая электроника, 1979, т. 6, № 8, с. 1756.
4. Жуков А.Ф., Кабанов В.М., Цвык Р.ИИ. Дисперсия флуктуации интенсивности в лазерных пучках при снегопаде. — Изв. АН СССР, ФАО, 1985, т. 21, № 2, с. 147.

Институт оптики атмосферы
СО АН СССР, Томск

Поступило в редакцию
8 января 1988 г.

A. F. Zhukov, R. Sh. Tsvik, N. A. Vostretsov. Averaging Effect of the Receiving Aperture on Laser Intensity Fluctuations in Snowfall.

Measurements on the weakly-focused laser beam intensity fluctuations over a 130 m atmospheric path for different aperture diameters are reported.

The fluctuation variance is shown to decrease much more rapidly as the aperture diameter is increased. The decrease is found to be faster in snowfall than in the turbulent atmosphere.