

А.Г. Боровой, Н.А. Вострецов, А.Ф. Жуков, Р.Ш. Цвык, В.П. Якубов

ЗАТУХАНИЕ ФЛУКТУАЦИЙ ЛАЗЕРНОГО СИГНАЛА В СНЕГОПАДЕ ПРИ НЕТОЧЕЧНОМ ПРИЕМНИКЕ

В узком расходящемся пучке экспериментально исследована зависимость дисперсии флуктуаций лазерного сигнала при неточечном приемнике в снегопадах от длины трассы при близких атмосферных условиях. Установлено затухание флуктуаций с ростом длины трассы.

Флуктуации интенсивности узких лазерных пучков при их распространении в снегопадах рассматривались нами в [1–5]. В частности, было показано, что при распространении света в осадках существуют три области, или режима, флуктуаций интенсивности: режимы слабых, насыщенных и затухающих флуктуаций. При этом прием излучения осуществлялся «точечным» приемником.

Практический интерес представляют также флуктуации сигналов, когда размеры приемника превышают пространственный радиус корреляции интенсивности и в результате происходит усреднение по приемной диафрагме. Режим насыщенных флуктуаций в снегопадах для неточечных приемников излучения был рассмотрен нами экспериментально в [3, 4]. В данном сообщении приводятся результаты аналогичных экспериментальных исследований режима затухания флуктуаций. Измерения проводились на Томском полигоне зимой 1997 г.

Для перехода к режиму затухания флуктуаций была оборудована трасса длиной 2048 м. Для анализа выбраны снегопады с небольшими размерами снежинок, их максимальный диаметр был равен 1–3 мм. Диаметр приемника излучения 3,1 мм, что обеспечивало условие неточечности приемника.

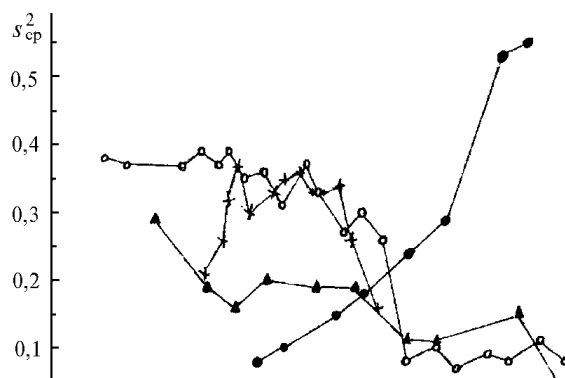


Рис. 1. Зависимость среднего индекса мерцаний ($s_{ср}^2$) от прозрачности (P) на трассе (2×100) м, на трассах 260, 520, 780 и 2048 м: \blacktriangle — $L = 260$ м; \circ — $L = 520$ м; $+$ — $L = 780$ м; \bullet — $L = 2048$ м

На рис. 1 черными кружками представлены результаты измерений индекса мерцаний флуктуаций интенсивности, полученные на трассе 2048 м. Индекс мерцаний определяется выражением

$$s^2 = \langle (I^2) \rangle - \langle I \rangle^2 / \langle I \rangle^2, \quad (1)$$

где I — измеряемый сигнал; $\langle \dots \rangle$ — временное усреднение, равное в этих измерениях 20 с. В отличие от работ [1–5], здесь по горизонтальной оси откладывается не оптическая толщина снегопада, а экспериментально измеренная прозрачность P на трассе 2×100 м. Представленные на

графике точки – это результат усреднения экспериментальных данных в интервалах с шагом прозрачности 5%. Таким образом, при различных длинах трассы данной величине P соответствуют различные оптические толщи.

Для сравнения на рисунке приведены данные из [4] для трасс меньшей протяженности. Как видим, полученные данные на трассе 2048 м, на первый взгляд, проявляют другие качественные закономерности. Действительно, индекс мерцаний при увеличении интенсивности снегопада на трассах длиной 260 и 520 м возрастает и выходит на режим насыщения флуктуаций, а для трассы 780 м при больших интенсивностях снегопада переходит и в режим затухания флуктуаций. На трассе 2048 м индекс мерцаний, напротив, монотонно уменьшается.

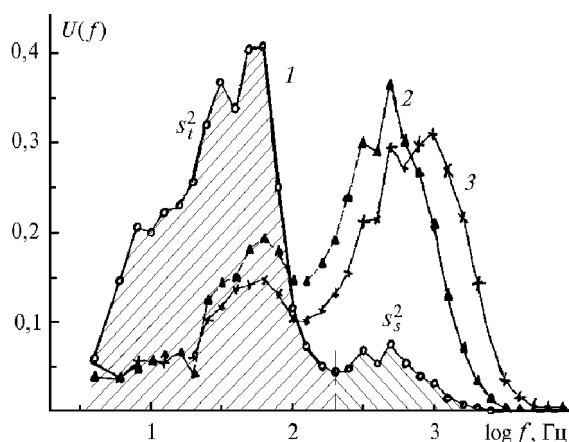


Рис. 2. Спектры флуктуации $U(f) = fW(f) \int W(f) df$, где $W(f)$ – спектральная плотность на частоте f , в зависимости от логарифма частоты $\log f$ на трассе $L = 2048$ м при $D_{\text{пр}} = 3,1$ мм: 1 – $s^2 = 0,72$; $P = 81\%$; $D_m = 1$ мм; $V_{\perp} = 1$ м/с; 2 – $s^2 = 0,24$; $P = 67\%$; $D_m = 1$ мм; $V_{\perp} = 1$ м/с; 3 – $s^2 = 0,11$; $P = 50\%$; $D_m = 1$ мм; $V_{\perp} = 1,2$ м/с

Это качественное отличие флуктуаций на трассе 2048 м объясняется тем, что на трассах такой длины турбулентная атмосфера зачастую вносит существенный вклад во флуктуации сигналов. Это утверждение следует из спектров флуктуаций интенсивности, представленных на рис. 2 для трассы 2048 м. Как и в [1–5], измерения индекса мерцаний обычно сопровождались измерениями спектра флуктуаций. В результате индекс мерцаний можно разделить на турбулентную и снеговую составляющие по приближенному соотношению

$$s^2 = s_t^2 + s_s^2, \quad (2)$$

где отношение между величинами s_t^2 и s_s^2 находится как отношение соответствующих площадей на рис. 2.

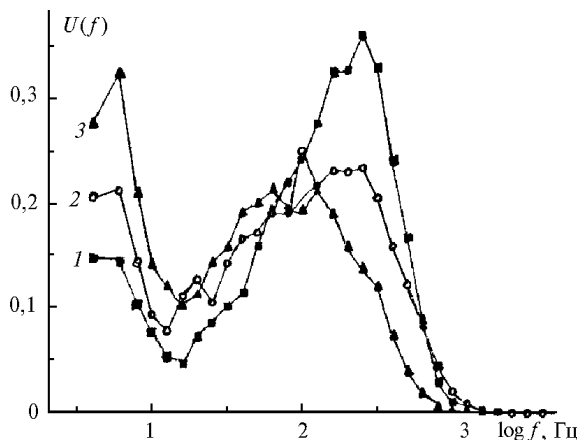


Рис. 3. Спектры флуктуации $U(f)$ в зависимости от логарифма частоты $\log f$ на трассах 520 и 780 м при $D_{\text{пр}} = 3,1$ мм: 1 – $s^2 = 0,38$; $P = 51\%$; $D_m = 1-3$ мм; $V_{\perp} = 0,2$ м/с; $L = 780$ м; 2 – $s^2 = 0,26$; $P = 55\%$; $D_m = 1-3$ мм; $V_{\perp} = 3,0$ м/с; $L = 520$ м; 3 – $s^2 = 0,08$; $P = 89\%$; $D_m = 2-3$ мм; $V_{\perp} = 0,77$ м/с; $L = 520$ м

Здесь пик вблизи 100 Гц вызван турбулентной атмосферой, а в области 1 кГц – снегопадом. Разделяя спектры в точках главных минимумов между этими пиками и вычисляя отношение площадей по обе стороны минимума, мы получаем разделение индекса мерцаний (2). Для пояснения эти площади на рис. 2 при $P = 81\%$ заштрихованы в различных направлениях. Как видим, вклад от турбулентной атмосферы для трассы 2048 м был значительным при небольшой интенсивности снегопада.

На рис. 3 приведены спектры флуктуаций сигнала на трассе 780 и 520 м. Влияние турбулентной атмосферы на этих трассах было менее значительным, но все-таки оптически ощутимым.

Таким образом, для анализа вклада снегопадов во флуктуации сигнала требуется из общей суммы вычесть вклад от турбулентной атмосферы. Мы рассчитали величину s_s^2 для снегопадов, попадающих в интервал $P = 50\text{--}60\%$ для всех длин трасс, представленных на рис. 1. Результаты расчета представлены в таблице.

$L, \text{ м}$	τ	$\Delta\tau$	s^2	Δs^2	s_s^2	N
260	0,79	0,023	0,18	0,013	0,18	119
520	1,58	0,023	0,35	0,064	0,26	136
780	2,34	0,025	0,33	0,061	0,24	50
2048	6,14	0,020	0,09	0,018	0,07	22

Усреднение проводилось в указанном интервале прозрачности P . В таблице кроме искомой величины s_s^2 указаны также для каждой трассы средние значения оптической толщи τ , индекса мерцаний s^2 и их среднеквадратические отклонения $\Delta\tau$ и Δs^2 . В последнем столбце таблицы указано число измерений N при $P = 50\text{--}60\%$.

Как видно из таблицы и рис. 1, на трассе 2048 м при таких интенсивностях снегопадов флуктуации сигнала существенно меньше, чем на более коротких трассах. Это, в сущности, говорит о наличии режима затухающих флуктуаций при неточном приемнике. В этом и состоит главный вывод настоящего сообщения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 96-02-16388).

1. Жуков А. Ф. // Оптика атмосферы и океана. 1993. Т. 6. N 1. С. 33–36.
2. Боровой А. Г., Жуков А. Ф., Вострецов Н. А. // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. N 1. С. 109–111.
3. Вострецов Н. А., Жуков А. Ф. // Оптика атмосферы и океана. 1995. Т. 8. N 5. С. 796–797.
4. Жуков А. Ф., Вострецов Н. А. // Оптика атмосферы и океана. 1996. Т. 9. N 8. С. 1058–1068.
5. Боровой А. Г., Жуков А. Ф., Вострецов Н. А., Каргин Б. А., Пригарин С. М. // Оптика атмосферы и океана. 1997. Т. 10. N 3. С. 227–233.

Институт оптики атмосферы СО РАН, Томск
Томский государственный университет

Поступила в редакцию
1 августа 1997 г.

A. G. Borovoy, N. A. Vostretsov, A. F. Zhukov, R. Sh. Tsvyk, V. P. Yakubov.
Decay of Laser Signal Fluctuations in Snowfall when Using Non-point Receiver.

A dependence of a laser signal fluctuations dispersion on the path length was studied experimentally in narrow divergent beam in a snowfall under close atmospheric conditions provided that non-point receiver was used. The fluctuations were found to decay with the path length increase.