

Н.А. Вострецов, А.Ф. Жуков

**ФЛУКТУАЦИИ ИНТЕНСИВНОСТИ РАССЕЯННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ФОКУСИРОВАННОГО ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ. Ч. 2. ДОЖДЬ, ТУМАН**

Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 1.11.99 г.

Проведен анализ флуктуационных характеристик рассеянного в тумане и дожде фокусированного лазерного пучка. Установлено, что временной частотный спектр может быть использован для идентификации погодных условий.

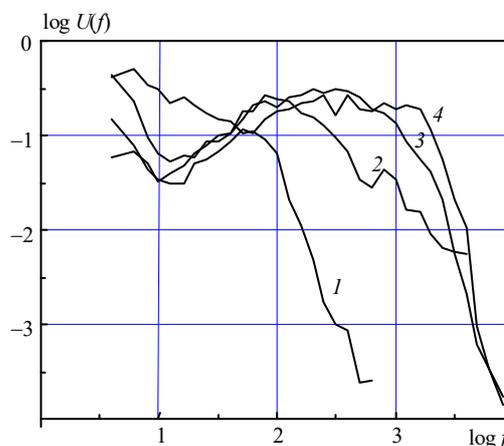
Задача экспериментального исследования флуктуаций рассеянного излучения фокусированного лазерного пучка и нахождения оптических флуктуационных характеристик рассеянного излучения для идентификации погодных условий в оптике атмосферы не нова. Она в разной мере обсуждалась в известных нам работах [1, 2]. Из них определено ясно, что среднее значение оптического сигнала в пучке и в его ближайшем окружении не дает однозначного ответа на вопрос о погодных условиях атмосферы.

Как следует из наших работ [3–6], временные флуктуации принимаемого излучения дают информацию о наличии осадков. Ее можно получить, анализируя временной спектр как в прямом пучке, так и в ближайшем его окружении. Неизбежно турбулентность воздуха создает ограничения в таких измерениях, особенно в области низких частот, которые желательно уменьшить в разработке идентификатора погоды. Из работ [3–6] следует, что флуктуации рассеянного излучения менее подвержены действию турбулентности по сравнению с флуктуациями в центре пучка. С другой стороны, известно, что уменьшение угла рассеяния вблизи пучка приводит к существенному увеличению рассеянного излучения. В этом отношении полезен фокусированный пучок. Фокусировка пучка позволяет получить в фокальной плоскости размер пучка в несколько миллиметров, поэтому создается возможность проводить измерения рассеянного излучения в предельно малых углах рассеяния с приемником весьма малых размеров. До сих пор мало данных о характерных особенностях флуктуаций рассеянного излучения в малых углах рассеяния. Результаты опубликованы только для снегопада [3–6].

**1. Методика измерений**

Кратко изложим суть измерений. Источник – лазер ЛГН-215,  $\lambda = 0,6328$  мкм, мощность источника  $P \leq 70$  мВт. Длина трассы  $L = 130$  м. Диаметр фокусированного пучка на входе в атмосферу равен около 16 см. Диаметр пучка в плоскости приема пучка составлял не более 5 мм. Диаметр приемной диафрагмы 0,01 см. Угол поля зрения фотоприемника  $2,7 \cdot 10^{-2}$  рад. Расстояние от центра пучка, на котором установлен фотоприемник, равно  $\Delta L = 10$  мм. Прием излучения проводился в фокальной плоскости лазерного пучка. Вначале фотоприемник размещался на оптической оси фокусированного пучка, а затем смещался на 10 мм в сторону от оси пучка. Одновременно измерялись частотный спектр, автокорреляционная функция и гистограмма

распределения вероятностей временных флуктуаций рассеянного излучения.



Временной частотный спектр флуктуаций рассеянного излучения: туман  $\tau = 0,145$ ,  $V = 0$ ; морось  $\tau = 0,07$ ,  $V = 4$  м/с,  $\bar{V} = 210^\circ$ ; снег  $\tau = 0,16$ ,  $V = 4$  м/с,  $\bar{V} = 210^\circ$ ; дождь  $\tau = 0,16$ ,  $V = 2$  м/с,  $\bar{V} = 290^\circ$

**2. Результаты измерений**

На рисунке приведен в логарифмическом масштабе временной частотный спектр в четырех существенно разных ситуациях: 1 – туман; 2 – морось; 3 – снег; 4 – дождь. Подчеркнем, что в тумане измерения при безветрии. В целом нами установлено, что формы спектра рассеянного излучения фокусированного лазерного пучка при близких оптических толщах существенно отличаются в тумане и осадках. В тумане спектр заметно более низкочастотный, чем в дожде, снеге и мороси. Подобная ситуация имеет место и в центре узкого расходящегося лазерного пучка [1]. Естественно такие различия в спектре применить для установления типа погоды. Для этого можно использовать особенности в форме всего спектра. Чтобы упростить измерения, но учесть отмеченные различия в спектре, можно использовать известный подход, описанный в работе [7], где применяются отношения сигналов, полученных в узком диапазоне частот. Например, для ситуации, показанной на рисунке, можно использовать сигналы на выходе фильтров 25 и 500 Гц. При этом отношение второго сигнала к первому в тумане очень мало

(0,0015), в мороси – 0,39, в дожде – 3,35, в снеге – 3,34. В дожде и снеге отношение этих сигналов примерно равно. Поэтому введем еще один фильтр, например фильтр с центральной частотой, равной 2,5 кГц. В этом случае отношение третьего сигнала ко второму в дожде равно 0,28, а в снеге 0,08, что в принципе позволяет отличить дождь от снега. Для выбора центральной частоты фильтра необходимо учесть среднюю скорость ветра, а лучше ее перпендикулярную составляющую к трассе [8]. Для конкретного выбора алгоритма необходимо провести дополнительные исследования.

Время корреляции в тумане на порядок и более превышает время корреляции в дожде, снеге и мороси. В эксперименте получено 14 нормированных корреляционных функций для тумана, когда оптическая толщина варьировалась от 0,14 до 0,5 при скорости ветра, близкой к нулю. Среднее время корреляции на уровнях 0,5; 0,367; 0,1; 0 равно 7,78; 13,3; 42,2; 73,16 мс соответственно. Их минимальные значения равны 3,08; 4,31; 30; 48 мс, а максимальные – 15,5; 21; 65; 95 мс. Не обнаружено зависимости времени корреляции от оптической толщи по анализируемым данным.

Распределение плотности вероятностей флуктуаций интенсивности рассеянного излучения фокусированного лазерного пучка как в снегопаде [5, 6], так и в дожде и тумане имеет правую асимметрию. Экспериментальные распределения лучше всего описываются гамма-распределением.

### Заключение

Анализ экспериментальных данных флуктуаций интенсивности рассеянного излучения фокусированного лазерного пучка в тумане и дожде позволил установить неко-

торые характерные особенности в этих флуктуациях. Для измерения погодных условий на трассе наиболее подходит, на наш взгляд, временной частотный спектр. При этом информацию о погоде можно получить по форме полного спектра, а также по отношению между сигналами, измененными в узких полосах спектра. Для конкретного выбора полос необходимо провести дополнительные измерения.

Авторы благодарят А.Г. Борового за полезные советы по обсуждаемой проблеме.

Работа выполнена при частичном финансировании Российским фондом фундаментальных исследований, проект № 99-02-16923.

1. *Вострецов Н.А., Жуков А.Ф.* // Оптика атмосферы и океана. 1999. Т. 12. № 8. С. 689–693.
2. *Earnshaw K.B., Wang Ting-i, Lawrence R.S., Creunke R.G.* // J. Appl. Meteorol. 1978. V. 17. N 10. P. 1476–1481.
3. *Вострецов Н.А., Жуков А.Ф., Кабанов М.В., Цвык Р.Ш.* Статистические характеристики флуктуаций интенсивности лазерного пучка в снегопаде. Томск, 1982. 50 с. (Препринт / Институт оптики атмосферы, № 13).
4. *Zhukov A.F., Kabanov M.V., Tsvyk R.Sh.* // Appl. Opt. 1988. V. 27. N 3. P. 578–583.
5. *Жуков А.Ф.* Флуктуации интенсивности лазерного пучка при распространении в атмосферных осадках: Дис. ... к.ф.-м.н. Томск: ИОА СО РАН, 1992. 236 с.
6. *Вострецов Н.А., Жуков А.Ф.* // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. № 1. С. 24–28.
7. *Wang Ting-i, Lataitis R., Lawrence R.S., Ochs C.R.* // J. Appl. Meteorol. 1982. V. 21. N 1. P. 1747–1753.
8. *А. с. 1334967 (СССР).* Способ определения характеристик осадков / Ефремов А.В., Жуков А.Ф., Рейно В.В., Цвык Р.Ш.

*N.A. Vostretsov, A.F. Zhukov. Fluctuations of Intensity of Focused Laser Beam Scattered Radiation in the Ground Atmospheric Layer.*

Fluctuation characteristics of focused laser beam scattered by fog and rain are under analysis. Its time frequency spectrum is shown to be applicable to identification of weather conditions.