

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 681.375.826:551.571.4

## Пригодность критерия аппроксимации для распределения плотности вероятностей флуктуаций излучения сфокусированного лазерного пучка в снегопадах

Н.А. Вострецов, А.Ф. Жуков\*

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН  
634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1*

Поступила в редакцию 31.03.2014 г.

Представлены результаты измерений флуктуаций рассеянного излучения сфокусированного лазерного пучка в снегопадах. Показана пригодность критерия первого выхода значений аппроксимирующего распределения из области сравнения для аппроксимации экспериментальных распределений, измеренных как для зависимых, так и для независимых выборок значений рассеянного излучения.

*Ключевые слова:* критерий аппроксимации, плотность вероятностей, зависимые и независимые выборки, рассеянное излучение, лазерный пучок, снегопад; *criterion approximation, density of probabilities, dependent and independent samples, scattered radiation, laser of beam, snowfall.*

В [1] показана пригодность критерия первого выхода из области сравнения (КПВОС) для аппроксимации вероятностей сигнала на выходе фотоприемника, установленного на оптической оси узкого расходящегося лазерного пучка, распространяющегося в приземной атмосфере в снегопадах, где выборки были зависимы и независимы. В [2] рассматривается пригодность КПВОС для плотности вероятностей гармонического сигнала в случае зависимых и независимых выборок его значений. В данном кратком сообщении представлены результаты аппроксимации распределения плотности вероятностей (РПВ) только рассеянного излучения сфокусированного лазерного пучка в снегопадах. В эксперименте использовался He–Ne-лазер типа ЛГН-215 (длина волны 0,63 мкм). Пучок распространялся на высоте 2 м. Он фокусировался так, что его фокус находился на расстоянии 130 м. Диаметр пучка в фокальной плоскости был не более 3 мм. Начальный диаметр гауссова пучка равнялся 158 мм. Только рассеянное излучение принималось фотоэлектронным умножителем (ФЭУ-38). Перед ФЭУ устанавливалась диафрагма диаметром 0,1 мм. ФЭУ с блендой располагался на расстоянии 10 мм от оптической оси пучка в плоскости фокуса. Угол поля зрения приемника составлял  $2,7 \cdot 10^{-2}$  рад.

Измерения осуществлялись в следующей последовательности. Сначала коррелятором Х6-4 определялось время корреляции  $t_k$ , затем изменялся

промежуток времени между элементами выборки (отсчетами)  $\Delta t$  так, чтобы  $\Delta t < t_k$  или  $\Delta t \geq t_k$ . Когда  $\Delta t < t_k$ , выборки были зависимыми, а при  $\Delta t \geq t_k$  – независимыми. Измерения  $\Delta t$  проводились генератором импульсов Г5-54. Сигнал с Г5-54 определял частоту преобразования анализатора импульсов АИ-1024. В АИ-1024 непрерывный сигнал с ФЭУ после его усиления с частотой, установленной на генераторе Г5-54, преобразовывался в импульсный сигнал, так что амплитуда импульсов была равна значению амплитуды непрерывного сигнала в момент его преобразования. Анализатор импульсов АИ-1024 подсчитывал число раз, когда амплитуда импульсов находилась в заданном интервале значений  $a_i$ . В измерениях использовалось 128 каналов (уровней). В анализаторе максимальное количество каналов было равно 1024. По числу  $a_i$  рассчитывалась плотность вероятностей флуктуаций рассеянного излучения  $\omega_i$ .

Аппроксимация экспериментальных  $\omega_i$  проводилась гамма- и бета-распределениями с использованием КПВОС, как и в [1, 2]. КПВОС будет выполняться, когда максимальное значение модуля разности между значениями плотности вероятностей аппроксимирующего и экспериментального распределения меньше половины вертикального размера области сравнения, т.е. отношение максимального значения модуля разности между значениями плотности вероятностей аппроксимирующего (аналитического) и экспериментального распределения к полуширине вертикального размера области сравнения меньше или равно единице. Поэтому, как и в [2], за меру пригодности КПВОС мы взяли отношение  $\delta_1$  модуля максимального отклонения значения ана-

\* Николай Арсеньевич Вострецов (vna@iao.ru); Анатолий Фомич Жуков.

литического РПВ  $\omega_{ia}$  от соответствующего значения экспериментального РПВ ( $\omega_{is}$ ) к полуширине области сравнения

$$\delta_1 = \frac{\Delta_{\max} |\omega_{ia} - \omega_{is}|}{0,5(\omega_{ib} - \omega_{in})},$$

где  $\omega_{ib}$  – верхняя граница и  $\omega_{in}$  – нижняя граница области сравнения для каждого  $i$  [1],  $i = 1, 2, 3, \dots, 128$  – номер канала анализатора импульсов. На рис. 1 приведен пример применения КПВОС. По оси ординат отложены значения распределения плотности вероятностей  $\omega_i$ , а по оси абсцисс – номер канала анализатора импульсов  $i$ . Кривая 1 – экспериментальное РПВ. Кривые 2 и 3 соответственно – нижняя и верхняя границы области сравнения. Кривая 4 – аналитическое РПВ (гамма-распределение). Она обозначена точками. Штриховая кривая 5 – аналитическое РПВ (бета-распределение). Коэффициент  $\kappa$  – количественная мера определения качества аппроксимации [1]. Из рис. 1 видно, что значения аналитического РПВ гамма-распределения, в отличие от значений аналитического РПВ бета-распределения, не выходят из области сравнения.

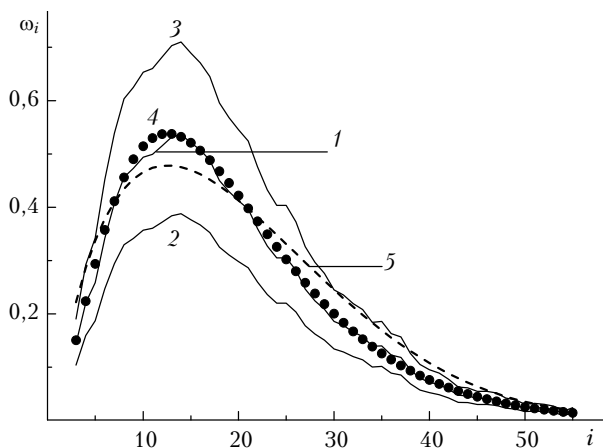


Рис. 1. Зависимость плотности вероятностей флуктуаций рассеянного излучения  $\omega_i$  от номера канала  $i$  анализатора импульсов АИ-1024: нормированная дисперсия флуктуации излучения  $\sigma^2 = 0,34$ ; оптическая толщина  $\tau = 0,31$ ; максимальный размер снежинок  $l_{\max} = 1-2$  мм; длина трассы  $L = 130$  м; расстояние от фотоприемника до оптической оси пучка  $\Delta l = 10$  мм; скорость ветра  $V = 2-3$  м/с; направление скорости ветра  $V^0 = 190^\circ$ ;  $\kappa = 0,15$

Критерий первого выхода из области сравнения будет выполняться, если модуль разности между значениями аналитического и экспериментально-

го РПВ меньше половины вертикального размера области сравнения.

Рассмотрим отношение  $\delta_1$  от  $\ln \delta$  ( $\delta = t_\kappa / \Delta t$ ). Когда  $\delta_1 \leq 1$ , то выполняется КПВОС, т.е. аналитическое (аппроксимирующее) распределение не выходит из области сравнения, а при  $\delta_1 > 1$  КПВОС не выполняется. На рис. 2 по оси ординат отложено отношение  $\delta_1$ , а по оси абсцисс – логарифм  $\delta$ ,  $\kappa = 0,15$ . Светлыми кружками показаны измерения в мелкодисперсных снегопадах, когда максимальный размер снежинок не превышал 3 мм, а темными – измерения в крупнодисперсных снегопадах, когда максимальный размер снежинок был от 5 до 20 мм.

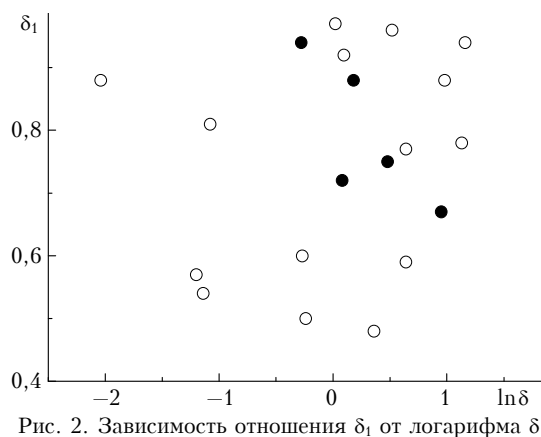


Рис. 2. Зависимость отношения  $\delta_1$  от логарифма  $\delta$

Из рис. 2 видно, что  $\delta_1$  меньше единицы как при независимых ( $\ln \delta \leq 0$ ), так и при зависимых ( $\ln \delta > 0$ ) выборках (отсчетах). Следовательно, КПВОС применим для обеих выборок.

В результате проведенных исследований установлено, что экспериментальные РПВ в большинстве случаев аппроксимируются гамма-распределением и не описываются бета-распределением. Критерий КПВОС можно использовать при зависимых и независимых выборках флуктуаций только рассеянного излучения.

1. *Вострецов Н.А., Жуков А.Ф.* Распределение вероятностей флуктуаций интенсивности расходящегося лазерного пучка в приземной атмосфере при снегопадах // *Оптика атмосфер. и океана.* 2011. Т. 24, № 8. С. 706–710.
2. *Вострецов Н.А., Жуков А.Ф.* Пригодность критерия аппроксимации для распределения плотности вероятностей флуктуаций гармонического сигнала при независимых выборках. 1. Модельный эксперимент // *Оптика атмосфер. и океана.* 2014. Т. 26, № 5. С. 375–377.

*N.A. Vostretsov, A.F. Zhukov. The criterion approximation suitability for distribution of the probability densities of fluctuations of focused laser beams in snowfalls.*

The results of measurements of fluctuations of the scattered radiation of a focused laser beam in snowfalls are presented. The suitability of the criterion of first output values that approximates experimental distributions measured for both dependent and independent sample values of scattered radiation is shown.