

## **ВЛИЯНИЕ СООТНОШЕНИЯ ПОЛЕЗНОГО И ПОМЕХОВОГО СИГНАЛОВ НА ВЫХОДЕ ЛИДАРА НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФРАКТАЛЬНОЙ РАЗМЕРНОСТИ**

Г.Н. Доля, Р.Э. Пашенко, В.П. Дзедань  
(Харьковский университет Воздушных Сил)

*Проведен анализ фрактальных свойств потока газа по результатам лидарных измерений при различном отношении сигнал/помеха, рассмотрена возможность использования фрактальной размерности для обнаружения полезного сигнала при низком отношении сигнал/помеха.*

*фрактальные свойства, фрактальная размерность, поток газа, лидарные измерения, отношение сигнал/помеха*

**Постановка проблемы и анализ литературы.** В настоящее время лидарные методы и средства измерений находят широкое применение при решении ряда прикладных задач. Особый интерес представляет применение лидаров в области анемометрии, благодаря способности их обеспечивать оперативное получение достоверной информации об исследуемых объектах (средах) бесконтактным методом [1]. Однако, в известных схемах доплеровских лидаров [2, 3] задача обнаружения газового потока и измерения его параметров (скорости, степени турбулентности) сводится к получению частотного спектра выходного сигнала фотоприемника и дальнейшему его анализу, т.е. выделению доплеровского сдвига частоты.

В таких системах для обнаружения доплеровского сигнала с высокой степенью достоверности необходимо обеспечить соответствующее значение отношения сигнал/помеха, что достигается наращиванием энергетики генератора (лазера) и, следовательно, влечет возрастание стоимости системы в целом. При этом реализуется характерная для лазерной локации ситуация, когда помеховый сигнал определяется совместным влиянием внешнего фонового излучения, а также внутренних шумов фотоприемника.

Ситуация также усугубляется тем, что турбулентность исследуемого потока приводит к уширению доплеровского спектра и, следовательно, снижению отношения сигнал/помеха. Для решения указанной проблемы целесообразно рассмотреть метод, основанный на анализе фрак-

тальных свойств временной зависимости тока с выхода фотоприемника лидарной системы.

**Цель статьи** – проанализировать фрактальные свойства потока газа при различном отношении сигнал/помеха и рассмотреть возможность использования фрактальной размерности для обнаружения полезного сигнала лидара при низком отношении сигнал/помеха.

**Описание экспериментальной установки.** Экспериментальная установка позволяет получить временные зависимости тока на выходе фотоприемника (длинные временные ряды) при измерении скорости движения газового потока, которые в дальнейшем обрабатывались с использованием теории фракталов. Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.

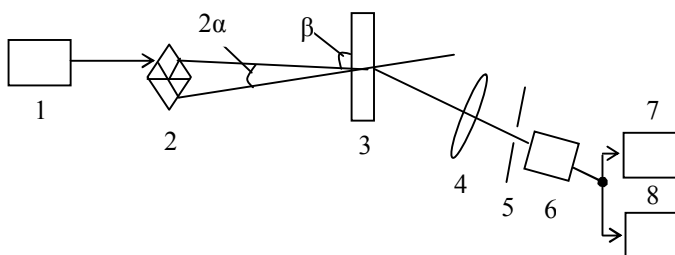
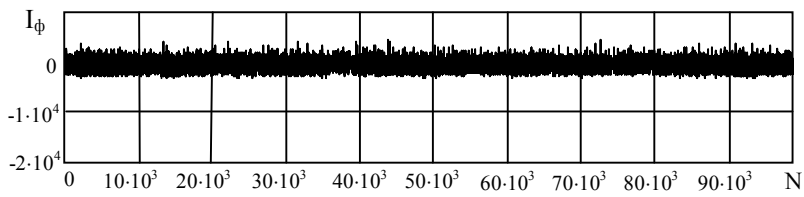


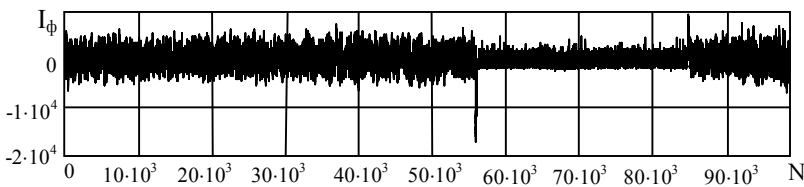
Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Газовый поток формировался с помощью подогреваемой кюветы с глицерином 3. Излучение гелий-неонового лазера ЛГ-38 1, работающего в одномодовом режиме, с помощью светоделителя 2, разделялось на два пучка, которые сводились в исследуемой области потока. Рассеянное излучение воспринималось приемным объективом 4, и через диафрагму 5 направлялось на фотоприёмник ФЭУ-51 6, выход которого подключался к входам спектроанализатора 7 и ПЭВМ 8. Угол между зондирующими лучами  $2\alpha$  составлял величину  $1,33^\circ$ , а угол  $\beta$  между направлением подсвета и вектором скорости потока составлял  $90^\circ$ . Различное соотношение полезного и помехового сигналов задавалось введением в тракт зондирующего луча нейтральных фильтров различной плотности.

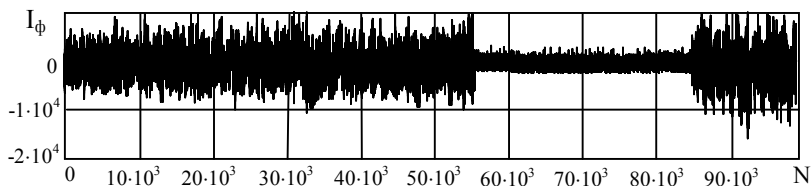
На рис. 2 приведены временные реализации фототока, полученные при скорости  $V = 7 \text{ см/с}$ , что в данной геометрии лучей соответствует доплеровскому сдвигу частоты  $f_d = 10 \text{ кГц}$ , а на рис. 3 – спектры полученных сигналов. Рисунки (а) соответствуют отношению сигнал/помеха  $q = 0,03 \text{ дБ}$ , рисунки (б) –  $q = 1,05 \text{ дБ}$ , рисунки (в) –  $q = 3,2 \text{ дБ}$ .



а

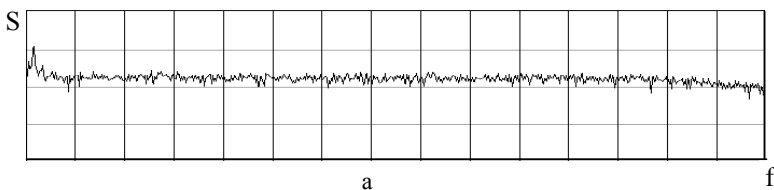


б

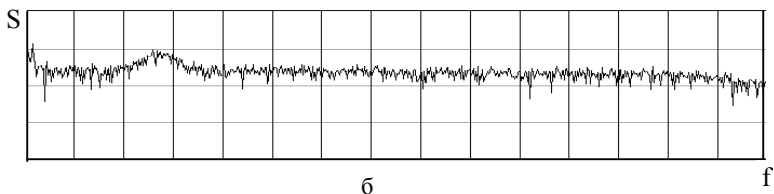


в

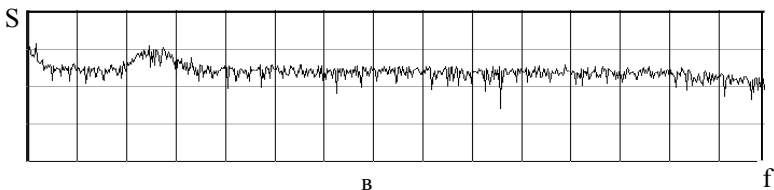
Рис. 2. Временные реализации фототока для различных отношений сигнал/помеха



а



б



в

Рис. 3. Частотные спектры фототока для различных отношений сигнал/помеха

Как видно из приведенных рисунков, обнаружение полезного (доплеровского) сигнала на фоне помехового возможно только при достаточно больших отношениях сигнал/помеха. При решении локационных задач особый интерес представляет случай слабых сигналов.

**Оценка фрактальных свойств газового потока при различных отношениях сигнал/помеха.** Анализируемые временные последовательности фототока носят случайный характер. Для определения фрактальности случайного процесса (временного ряда) используют показатель Херста и фрактальную размерность ( $D$ ) [4].

Методика анализа фрактальной размерности длинного временного ряда, с использованием метода «скачущего окна», рассмотрена в [5]. Исходная выборка анализируется с помощью «окна» определенного размера ( $N_0$ ), которое перемещается («скачет») с дискретностью в  $M = k \cdot N_0$  элементов «окна», где  $k$  – коэффициент «скачка», т.е. первое положение «окна» содержит значения с 1-го до  $N_0$ -го элемента выборки  $N$ , второе – с  $(k \cdot N_0 + 1)$ -го до  $((k \cdot N_0 + 1) + N_0)$ -го, третье – с  $(2 \cdot k \cdot N_0 + 1)$ -го до  $((2 \cdot k \cdot N_0 + 1) + N_0)$ -го и т.д. Для каждого положения «окна» рассчитывается фрактальная размерность. Подходы к выбору размера «окна» рассмотрены в [5] и предложен размер равный  $N_0 = 10000$ . С использованием этой методики проведем анализ фрактальных свойств потока газа по результатам лидарных измерений при различном отношении сигнал/помеха.

На рис. 4 показана зависимость фрактальной размерности  $D$  от положения «окна». По оси абсцисс отложены значения начала «скачущего окна»  $N_{\text{нач.о}}$ , а по оси ординат, соответствующие «окнам», фрактальные размерности. Также как и на рис. 2 и 3, рисунки (а) соответствуют отношению сигнал/помеха  $q = 0,03$  дБ, (б) –  $q = 1,05$  дБ, (в) –  $q = 3,2$  дБ.

Как видно из хода кривых на рис. 4, параметр  $D$  характеризует свойства газового потока. Колебания величины фрактальной размерности в пределах одной последовательности вызвано флуктуациями параметров газа (неравномерностью потока) в пределах времени регистрации. Кроме того, величина фрактальной размерности зависит от отношения сигнал/помеха. При снижении отношения сигнал/помеха значение фрактальной размерности увеличивается и стремится к размерности помехового сигнала. Однако, как видно из рис. 4, а, характер изменения фрактальной размерности при низком отношении сигнал/помеха (элементы анализируемой выборки с 55 000-го до 75 000-го)

такой же, как и при больших отношениях сигнал/помеха (рис. 4, б, в). Таким образом, существует возможность использования фрактальной размерности для обнаружения полезного сигнала при низком отношении сигнал/помеха.

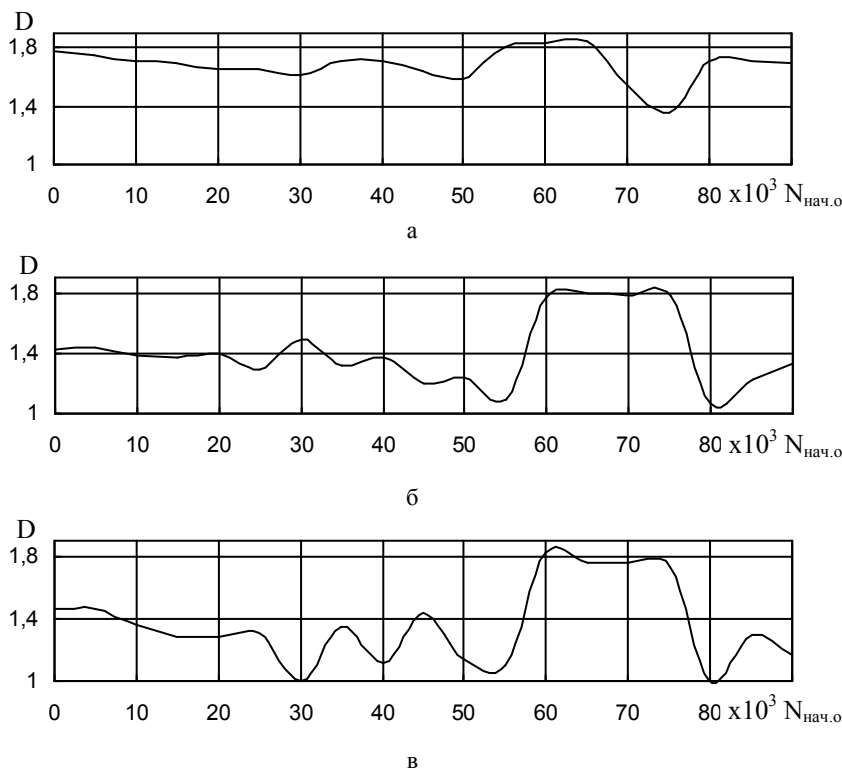


Рис. 4. Зависимость фрактальной размерности от положения «окна»

**Оценка среднего значения фрактальной размерности при различных отношениях сигнал/помеха.** Среднее значение фрактальной размерности  $\langle D \rangle$  определялось с использованием следующего выражения [5]:

$$\langle D \rangle = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K D_{ok} ,$$

где  $K = \frac{N}{M}$  – количество скачков «окна»;  $D_{ok}$  – фрактальная размерность «окна» размером  $N_o = 10\,000$  на  $k$ -м скачке.

Используя значения фрактальной размерности, представленные на рис. 4, получены следующие средние значения фрактальной размерности:

$$\text{при } q = 0,03 \text{ дБ} - \langle D \rangle = 1,6879 ;$$

$$\text{при } q = 1,05 \text{ дБ} - \langle D \rangle = 1,4046 ;$$

$$\text{при } q = 3,2 \text{ дБ} - \langle D \rangle = 1,3531 .$$

Таким образом, при увеличении отношения сигнал/помеха среднее значение фрактальной размерности уменьшается.

### **Выводы.**

1. Значение фрактальной размерности является информативным признаком для анализа состояния и свойств газовых потоков.

2. При снижении отношения сигнал/помеха значение фрактальной размерности увеличивается и стремится к размерности помехового сигнала.

3. При анализе слабых сигналов параметр  $D$  может быть более информативным по сравнению с традиционно измеряемыми.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Клочков В.П., Козлов Л.Ф., Потыкевич И.В., Соскин М.С. *Лазерная анемометрия, дистанционная спектроскопия и интерферометрия. Справочник.* – К.: Наук. думка, 1985. – 759 с.
2. Межерис Р. *Лазерное дистанционное зондирование.* – М.: Мир, 1987. – 550 с.
3. *Опτικο-электронные системы экологического мониторинга природной среды / Под ред. В.Н. Рождествина.* – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 528 с.
4. Федер Е. *Фракталы: Пер. с англ.* – М.: Мир, 1991. – 254 с.
5. Доля Г.Н., Пащенко Р.Э., Гулак В.П., Дзедбань В.П., Шаповалов А.В. *Определение свойств турбулентных газовых потоков по анализу фрактальной размерности результатов лидарных измерений // Восточно-Европейский журнал передовых технологий.* – 2004. – № 3 (9). – С. 17 – 19.

*Поступила 14.02.2005*

**Рецензент:** доктор технических наук профессор В.И. Карпенко,  
Харьковский университет Воздушных Сил.