

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.

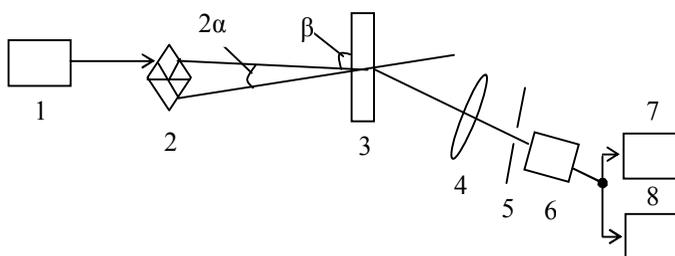
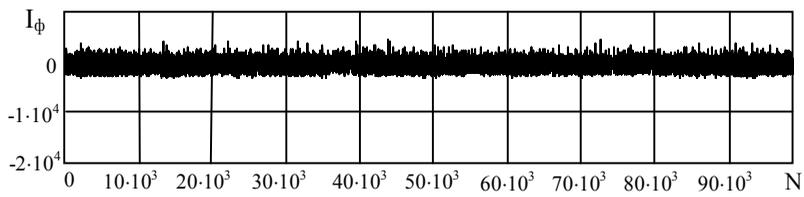


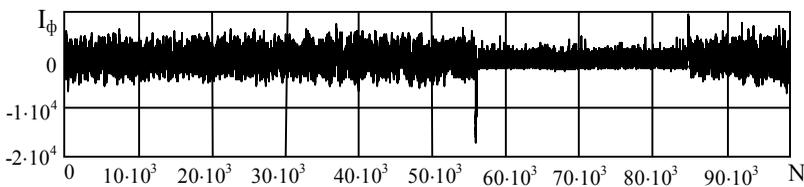
Рис. 1. Схема экспериментальной установки

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 2α составлял величину $1,33^\circ$, а угол β между направлением подсвета и вектором скорости потока составлял 90° . Различное соотношение полезного и помехового сигналов задавалось введением в тракт зондирующего луча нейтральных фильтров различной плотности.

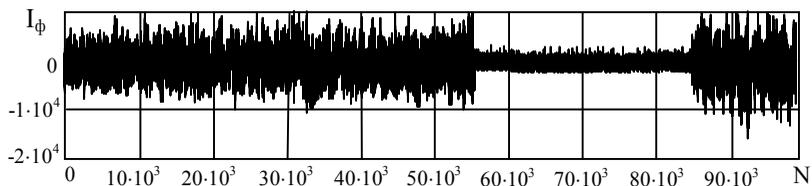
На рис. 2 приведены временные реализации фототока, полученные при скорости $V = 7 \text{ см/с}$, что в данной геометрии лучей соответствует доплеровскому сдвигу частоты $f_d = 10 \text{ кГц}$, а на рис. 3 – спектры полученных сигналов. Рисунки (а) соответствуют отношению сигнал/помеха $q = 0,03 \text{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



а

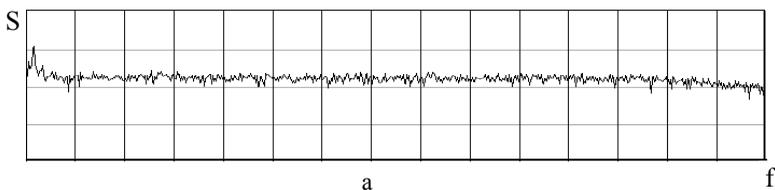


б

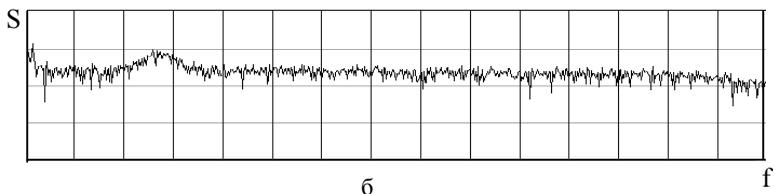


в

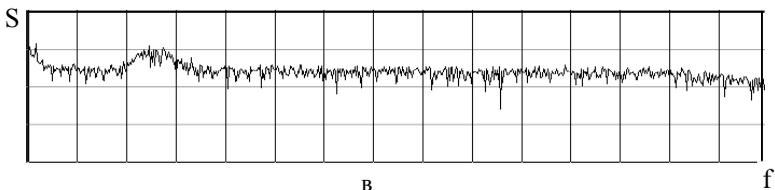
Рис. 2. Временные реализации фототока для различных отношений сигнал/помеха



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.

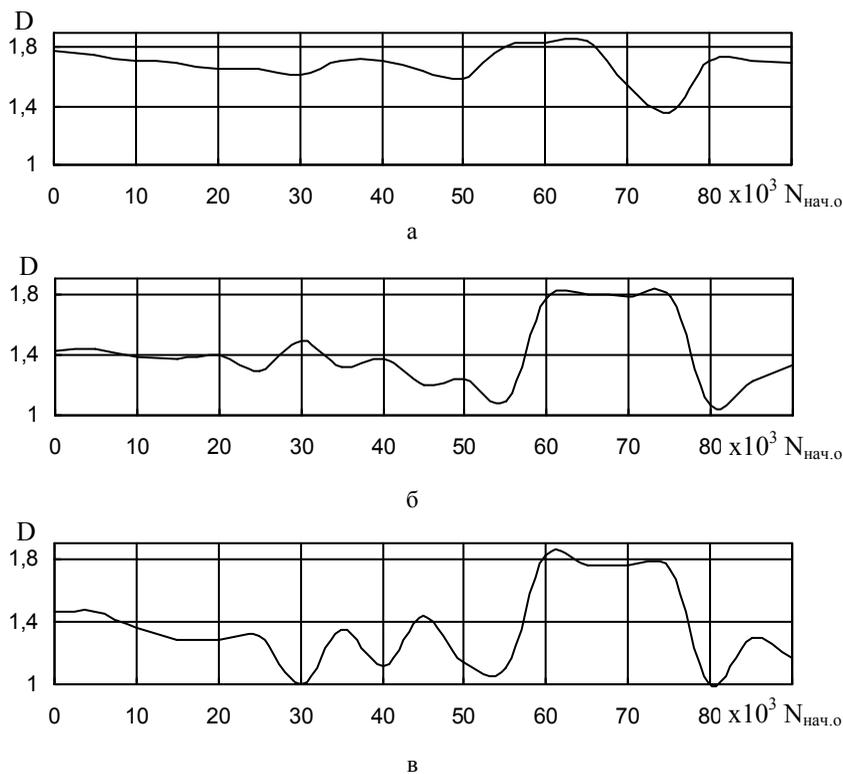


Рис. 4. Зависимость фрактальной размерности от положения «окна»

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.