

## РЕЗУЛЬТАТЫ НЕПРЕРЫВНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ИНФРАЗВУКОВОГО ФОНА

А.В. Соловьев, В.Т. Сарычев

### RESULTS CONTINUOUS SPECTRAL ESTIMATION AN INFRASONIC BACKGROUND

A.V. Solovyov, V.T. Sarichev

Представлены результаты спектрального анализа непрерывного круглосуточного мониторинга инфразвукового фона в условиях г. Томска. Представлены результаты измерений инфразвукового фона во время солнечного затмения 29 марта 2006 г. Предложена оригинальная методика непрерывного спектрального оценивания.

Results of the spectral analysis of continuous round-the-clock monitoring of an infrasonic background in conditions of Tomsk are submitted. Results of measurements of an infrasonic background are submitted during a solar eclipse on March, 29, 2006. The original technique continuous spectral estimation is offered.

В некоторых исследованиях при цифровой обработке сигналов следует отдать предпочтение непрерывным спектральным моделям сигнала, а не дискретным. Причина такого предпочтения кроется в том, что дискретные модели спектра предполагают периодичность сигналов с периодом, равным длительности окна наблюдения сигнала, тогда как непрерывные модели спектра периодичности исследуемых сигналов априори не требуют.

Оценки непрерывных спектров предполагают выбор некоторой параметрической модели. В предлагаемой работе эта параметризация реализуется путем разбиения выбранного спектрального окна на интервалы  $[\omega_{k-1}, \omega_k]$ ;  $k = 1, \dots, K$ , в пределах которых значения квадратур считаются постоянными, т. е. комплексный спектр  $X(\omega) = A(\omega) + iB(\omega)$  представляется набором значений  $(A_k, B_k)$  и считается  $A(\omega) = A_k, B(\omega) = B_k$  при  $\omega \in [\omega_{k-1}, \omega_k]$ . Предлагаемой модели комплексного спектра соответствует следующая параметрическая модель сигнала во временной области:

$$\begin{aligned} \langle X(t) \rangle &= \sum_{k=1}^K (A_k \varphi_k(t) + B_k \psi_k(t)); \\ \varphi_k(t) &= \int_{\omega_{k-1}}^{\omega_k} \cos(\omega t) d\omega; \quad \psi_k(t) = \int_{\omega_{k-1}}^{\omega_k} \sin(\omega t) d\omega. \end{aligned} \quad (1)$$

Оценка значений параметров  $A_k, B_k$  производится методом наименьших квадратов (МНК). Соответствующий МНК функционал среднеквадратичной невязки исходного  $X(t_i)$  и модельного сигналов  $\langle X(t_i) \rangle$  представляется следующей суммой:

$$\Phi = \sum_{i=1}^N (X(t_i) - \langle X(t_i) \rangle)^2. \quad (2)$$

Здесь  $N$  – длина ряда, представляющего исследуемый сигнал во временной области. Варьируя этот функционал по неизвестным параметрам, можно получить следующую систему уравнений для оценки значений этих параметров:

$$\begin{aligned} A_k C_{k,j} &= F_j, \quad k = 1, \dots, K, \\ B_k C_{k+K,j} &= F_j, \quad j = 1, \dots, 2K. \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь  $C$  – блочная матрица размером  $2K \times 2K$ , ее элементы определяются следующими выражениями:

$$\begin{aligned} C_{k,j} &= \sum_{i=1}^N \varphi_k(t_i) \cdot \varphi_j(t_i), \quad 1 \leq k, j \leq K; \\ C_{k,j+K} &= \sum_{i=1}^N \varphi_k(t_i) \cdot \psi_j(t_i), \\ C_{k+K,j} &= \sum_{i=1}^N \psi_k(t_i) \cdot \varphi_j(t_i), \\ C_{k+K,j+K} &= \sum_{i=1}^N \psi_k(t_i) \cdot \psi_j(t_i). \end{aligned} \quad (4)$$

Правые части системы уравнений (3) определяются суммами

$$\begin{aligned} F_j &= \sum_{i=1}^N X(t_i) \varphi_j(t_i), \quad 1 \leq j \leq K, \\ F_{j+K} &= \sum_{i=1}^N X(t_i) \psi_j(t_i). \end{aligned} \quad (5)$$

Вычисление функций  $\varphi_k(t)$  и  $\psi_k(t)$  требует определения сетки частот:  $[\omega_{k-1}, \omega_k]$ ;  $k = 1, \dots, K$ . Прежде всего, эта сетка должна быть выбрана таким образом, чтобы матрица  $C$  была хорошо обусловленной. Далее, из набора сеток, подчиняющихся указанному ограничению, следует выбрать ту, которая обеспечивает минимум значения функционала невязки (2) для выбранного класса исследуемых сигналов.

При исследовании акустических сигналов наибольший интерес представляет энергетический спектр, который выражается через квадратуры согласно выражению

$$W_k = A_k^2 + B_k^2.$$

Различными авторами [1–3] было показано, что энергетический спектр инфразвуковых сигналов, в том числе наблюдаемых в окне длительностью 150 с, с точностью лучше 1 % аппроксимируется степенным законом

$$W(f) = W_0 f^\gamma.$$

Значения параметров  $W_0$  и  $\gamma$  изменяются от кадра к кадру. Для наших измерений кадры следуют с дискретом 3 мин. Временная динамика спектрального состава инфразвука описывается поведением этих двух параметров.

Значения параметров для каждого 3-минутного кадра находятся по значениям компонент энергетического спектра путем минимизации функционала:

$$\Phi_\gamma = \sum_{k=1}^K (\ln(W_k) - \gamma \ln(f_k) - \ln(W_0))^2.$$

Ширина полосы частот при расчетах ограничивалась значением  $\Delta f = 1.33$  Гц. При оценке спектров эта полоса разбивалась на 200 равных интервалов ( $K=200$ ).

На рис. 1 и 2 представлены результаты расчетов параметров  $W_0$  и  $\gamma$ . Для сравнения приведены суточные изменения данных параметров, полученные в результате усреднения за 30 дней наблюдений и для контрольного дня 29 марта 2006 г. Большой разброс значений параметров  $W_0$  и  $\gamma$  29 марта 2006 г. связан с усилением в этот день метеорологической активности.

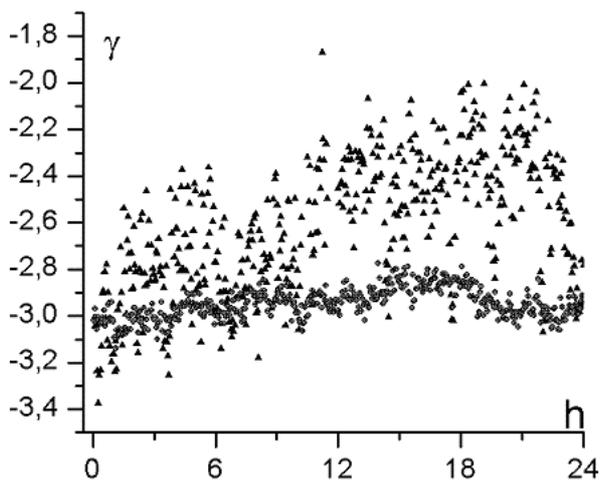


Рис. 1. Значения показателя  $\gamma$  в течение суток: кружки – среднее за 30 дней, треугольники – 29 марта.

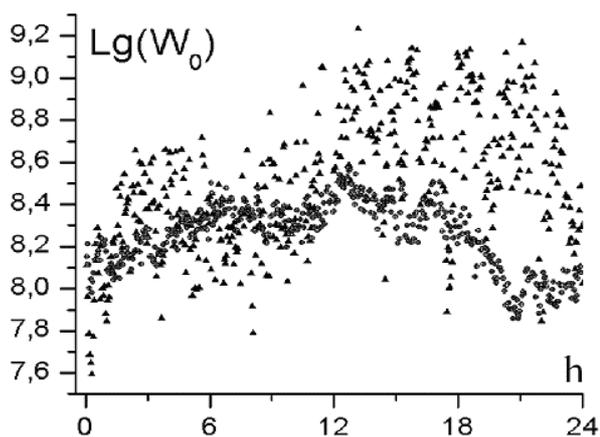


Рис. 2. Значения  $\lg(W_0)$  в течение суток: кружки – среднее за 30 дней, треугольники – 29 марта.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Госсард Э., Хук У.Х. Волны в атмосфере. М.: Мир, 1978. 532 с.
2. Голицын Г.С. О временном спектре микропульсаций атмосферного давления // Изв. АН СССР. 1964. № 8. С. 1253–1258.
3. Обухов А.М. Турбулентность и динамика атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 412 с.

Сибирский физико-технический институт при Томском государственном университете, E-mail: andrio@elefot.tsu.ru

