

## МОДЕЛЬНО-СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ЭХОСИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ

### Введение

Объектом наблюдения акустического локатора являются турбулентные моли в поле температуры и скорости, которые создают неоднородности волнового сопротивления воздушной среды. В общем случае цели такого типа относятся к объемно-распределенным, так как в импульсном объеме может наблюдаться более одного объекта рассеяния акустической волны.

Турбулентные моли формируются в процессе теплообмена между подстилающей поверхностью и атмосферой, и поэтому их «плотность», теплосодержание и температурный контраст определяются режимом баланса тепла между подстилающей поверхностью и атмосферой. Следовательно, характер цели акустического локатора зависит от типа термодинамического состояния атмосферы.

Относительно модели «мгновенной цели» акустического локатора выдвигаем следующую гипотезу: цель представляет собой горизонтально-слоистую среду, которая характеризуется «скачками» волнового сопротивления по вертикали, при этом горизонтальными градиентами в пределах импульсного объема можно пренебречь.

В структуре цели выделим переходные зоны (зона скачка) и зоны слоев. В пределах зоны слоя, ограниченного импульсным объемом, будем считать волновое сопротивление среды постоянной величиной  $\rho_s = const$ .

Вертикальная протяженность  $\partial h_i$  (толщина) зоны скачка отвечает условию  $\partial h_i \ll \lambda_s$ . Приращение температуры  $dT_i$  в переходном слое отвечает неравенству  $dT_i \gg \sigma_{T_s}$ , а градиент температуры в зоне «скачка»  $dT_i/dh_i \gg \gamma_a$ , где  $\lambda_s$  – длина акустической волны,  $\sigma_{T_s}$  – ср.кв. отклонение поля температуры,  $\gamma_a$  – сухоадиабатический температурный градиент.

При таких допущениях параметры эхосигналов, полученных при реальном акустическом зондировании, представляют собой случайную последовательность импульсов, длительность которых не меньше длительности зондирующего импульса.

Цель настоящей работы состоит в создании и апробации методики модельно-структурного анализа эхосигналов, которая позволит изучать свойства турбулентных молей температурного поля атмосферы как целей акустического локатора. Работа является дальнейшим развитием исследований, начатых в этой области в работах [1 – 2]. Экспериментальный материал, пример которого анализируется в настоящей работе, был получен автором на станции акустического зондирования атмосферы, созданной в Харьковском национальном университете радиоэлектроники. Экспериментальные наблюдения проводились в летние периоды времени 2011 и 2012 годов. На рис.1 приведен внешний вид антенных систем станции акустического зондирования атмосферы.

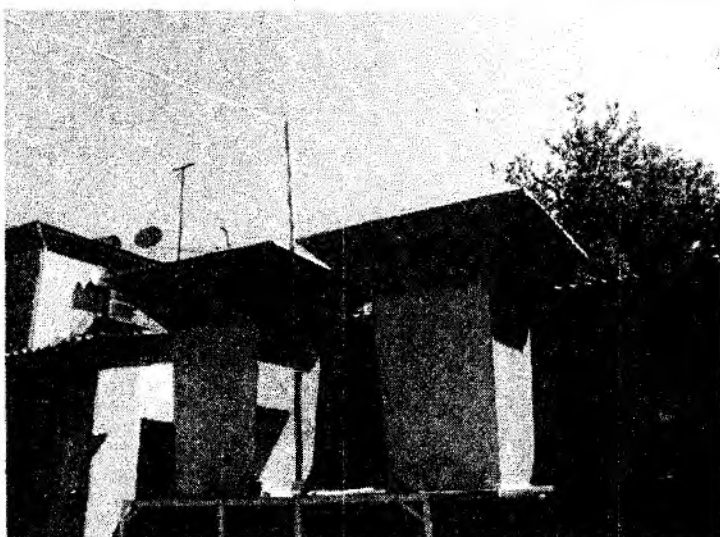


Рис.1 Антенные системы станции акустического зондирования атмосферы

## Модельно-структурный анализ эхосигналов

Результатом акустического зондирования атмосферы является реализация эхосигналов, организованная в виде  $(m \times n)$  матрицы  $S_a$  цифровых отсчетов эхосигналов  $s_{i,j}$ , где  $i = 1 \dots m$ ,  $j = 1 \dots n$ , причем столбцы матрицы представляют собой вертикальные одиночные профили эхосигналов  $s_j(i)$  и, следовательно, каждая строка  $s_i(j)$  матрицы  $S_a$  представляет собой ряд дискретных отсчетов эхосигналов для данной высоты  $h_j = \Delta h \cdot i$ , где  $\Delta h$  – дискретный шаг высоты.

Так как  $h = c_s \cdot t$ , где  $c_s$  – скорость распространения акустических волн в атмосфере,  $t$  – время, то профиль эхосигналов есть также и функция времени  $s_j = F(t)$ .

На рис. 2 приведен фрагмент реализации эхосигналов, продолжительностью  $T_{\Delta} \cong 10 \text{ мин}$ , что позволяет визуализировать детальную структуру эхосигнала.

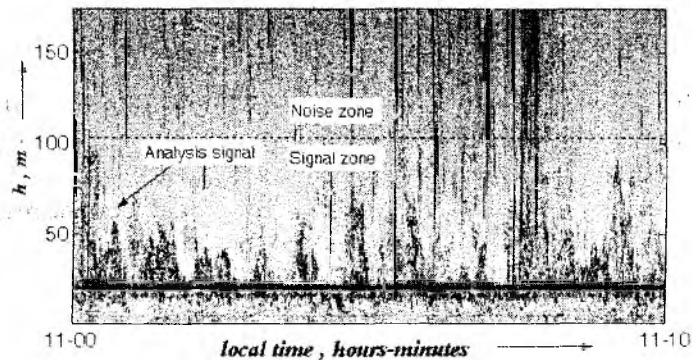


Рис.2. Фрагмент эхограммы акустического зондирования

Целью анализа является выявление структурных особенностей реализаций эхосигналов. Предположим, что реализация  $s_j(i)$  эхосигналов есть случайная последовательность эхоимпульсов, принятая системой за один период повторения  $T_s$  зондирующих импульсов  $T_s = \Delta t \cdot m$ , где  $\Delta t$  – интервал времени на дискретный шаг высоты. Для принятой реализации  $s_j(i)$  определим статистические частоты  $p^*$  возникновения импульсных эхосигналов  $s_t$  длительностью  $\tau_e \geq \tau_r$ , где  $\tau_e$  – длительность зондирующего импульса,  $\tau_r$  – длительность импульсных эхосигналов в принятой последовательности.

Расчет проведем методом модельно-корреляционного анализа реализации  $s_j(i)$ .

Примем модель одиночного импульса в принятой реализации в виде

$$s_p = -\cos(2\pi \cdot x_p / T_p) \quad (1)$$

где  $x_p = 1 \dots p$ ,  $p$  – число дискретных отсчетов на длительность модели,  $T_p$  – период модельной функции в дискретных отсчетах,  $p = k_p \cdot T_p$ , где  $k_p$  принимает значения  $k_p = 1; 2$ ;  $T_p$  – переменная величина, ее значения определяются из выражения  $T_p(n_p) = k_p \cdot (T_s + n_p)$ , где  $n_p = 1 \dots n_m$ ,  $n_m$  – максимальное число итераций изменения периода модельной функции,  $k_p$  – постоянный масштабный коэффициент.

Далее, для каждого из значений  $T_p$  рассчитываются коэффициенты корреляции  $k_r(q)$  между моделью  $s_p$  и фрагментом реализации эхосигнала  $s_j(i)$ , длительность которого  $T_{\Delta s}$  отвечает условию  $T_{\Delta s} = p$ :

$$k_r(q, T_p = const) = \frac{1}{\sigma_s \cdot \sigma_p} \sum_{i=q}^{q+p-1} s_j^\circ(i) \cdot s_p^\circ(i-q+1) \quad (2)$$

где  $q = 1 \dots (m-p)$ ,  $\sigma_{s,p}$  – ср. кв. отклонения фрагмента реализации эхосигналов и модели импульсного эхосигнала соответственно.

Каждый отсчет полученной зависимости  $k_r(q)$  сравнивается с пороговым значением  $g$  и формируется  $(n_m \times m)$  матрица  $B$ , члены строк которой принимают значения из условия  $B(i, j) = 1$  при  $k_r \geq g$  и  $B(i, j) = 0$  при  $k_r < g$ .

Если принять  $g = 0,8$ , то можно считать, что сумма членов строк матрицы  $B$  представляет собой число случаев приема эхосигналов в виде импульсов, определяемых моделью  $s_p$ . Тогда статистическая частота определится из выражения

$$p^*(i) = \frac{1}{m - p_i} \sum_{j=1}^{n_m} B_i(j) \quad (3)$$

Для анализа был выбран фрагмент эхограммы, указанный на рис.2 стрелкой. Был проведен структурный анализ реализаций эхосигналов и помех. Для этого соответствующие реализации формировались по областям эхограммы, указанным на рис.2 разделительной линией.

Результаты расчетов приведены на рис. 3, а, б и 4, а, б соответственно для двух видов моделей. В правом верхнем углу рисунков приведены графики функций, описывающих модели. На рис. 3, а и 4, а приведены распределения сигналов, на рис. 3, б и 4, б – помех. Ординаты графиков изображены в виде полос, напоминающих гистограмму для удобства восприятия величины  $p^*$ .

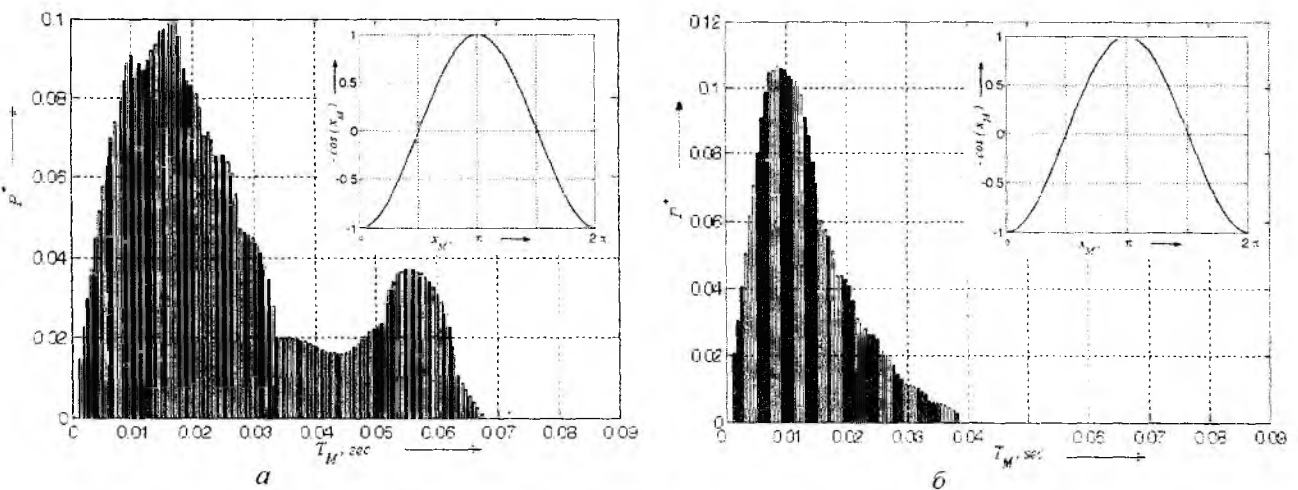


Рис.3. Распределение статистической вероятности реализации эхосигналов

### Выводы

Полученные результаты показывают, что при использовании модели в виде одного периода косинусного сигнала статистическая вероятность появления такого вида сигналов имеет вид сплошного распределения в области значений длительностей импульсов  $\tau_r = (2 \div 68) \cdot 10^{-3} c$  (длительность зондирующего импульса  $\tau_e = 2,9 \cdot 10^{-3} c$ ). Из этого следует, что в импульсном объеме наблюдаются «скачки» волнового сопротивления среды с интервалами  $\delta h_i \ll \Delta h$ , где  $\Delta h$  – разрешающая способность системы по дальности, для данной системы зондирования  $\Delta h \cong 0,5 m$ .

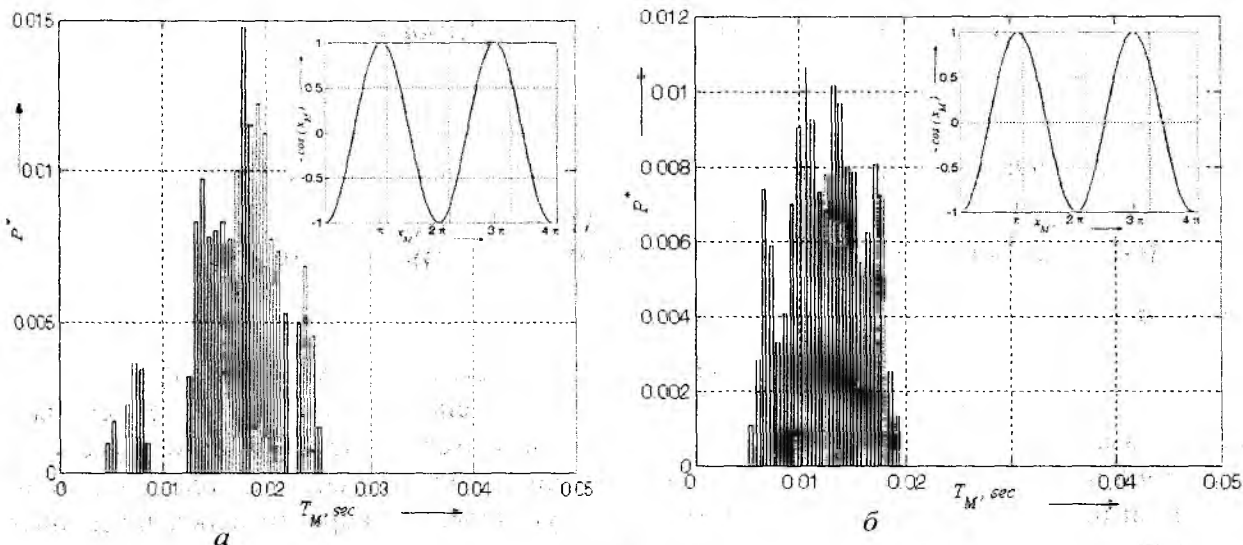


Рис.4. Распределение статистической вероятности реализации эхосигналов

Распределение помехи примерно вдвое уже, чем распределение сигналов. Это говорит о том, что в черте мегаполиса преобладают импульсные акустические помехи.

При использовании модели в виде двух периодов косинусного сигнала распределение сигналов становится линейчатым. Следовательно, упорядоченные структуры существуют в турбулентном поле температуры только при определенных масштабах длины.

Распределение помех в этом случае так же, как и в предыдущем случае, близко к сплошному, но в более узкой полосе периодов.

Основным результатом работы является создание методики структурного анализа эхосигналов акустического зондирования и формализованное подтверждение гипотезы о пространственно распределенном характере цели – турбулентных молей в поле температуры.

Выводы относительно структуры полей акустических помех и сигналов следует рассматривать как предварительные, так как они следуют из обработки относительно небольшого объема экспериментальных данных.

Из полученных результатов также следует, что перспективным направлением в развитии аппаратной части систем акустического зондирования является повышение их разрешающей способности по дальности, что позволит измерить мощность эхосигнала, рассеянного отдельным турбулентным моле.

**Список литературы:** 1. Семенец, В.В. Акустическое зондирование атмосферы в проблеме изучения процессов теплообмена в зоне мегаполиса / В.В. Семенец, В.И. Леонидов // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2011. – 6/8(54). – С.54. 2. Леонидов, В.И. Анализ квазипериодических амплитудно-временных структур эхосигналов акустического зондирования атмосферы / В.И. Леонидов, В.В. Семенец // Радиотехника. – 2011. – Вып.167. – С. 27-31.

Харьковский национальный  
университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 07.09.2012