

А.И. ЦОПА, д-р техн. наук, В.И. ЛЕОНИДОВ, канд. техн. наук, Р.А. БОБНЕВ,
Б.Е. НАКОНЕЧНЫЙ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО КАНАЛА ПРИЕМНИКА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОБНАРУЖЕНИЯ СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ АКУСТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ

Введение

Роль акустического зондирования как средства изучения атмосферных процессов определяется значением решения проблемы мониторинга (описания и классификации) типов термодинамических процессов в нижнем слое атмосферы [1].

В урбанизированных средах тип термодинамического процесса определяет степень загрязнения атмосферы при данной интенсивности выбросов вредных веществ, а также степень их распределения в пределах зоны мегаполиса, в зонах взлетно-посадочной полосы аэропортов тип термодинамического процесса определяет степень опасности движения авиационного транспорта, в климатологии мониторинг термодинамического состояния на сети станций дает информацию для разработки моделей изменения климата планеты.

Основным фактором, ограничивающим функциональные возможности систем акустического зондирования по мониторингу параметров состояния атмосферы, являются акустические помехи, а в среде мегаполиса дополнительным ограничивающим фактором являются также отражения от местных предметов – зданий и сооружений [2 – 4]. На рис.1 приведен пример записи результатов акустического зондирования, полученных на постоянно действующей станции, расположенной на территории Харьковского национального университета радиозлектроники.

Темные вертикальные штрихи, которые присутствуют на рис. 1, – это результат возникновения мощных кратковременных акустических помех в виде ударов или пения птиц. Горизонтальные прямые линии – это сигналы, отраженные от местных предметов, в данном случае – отражения от верхней кромки здания университетского корпуса, рядом с которым расположена антенная система станции.

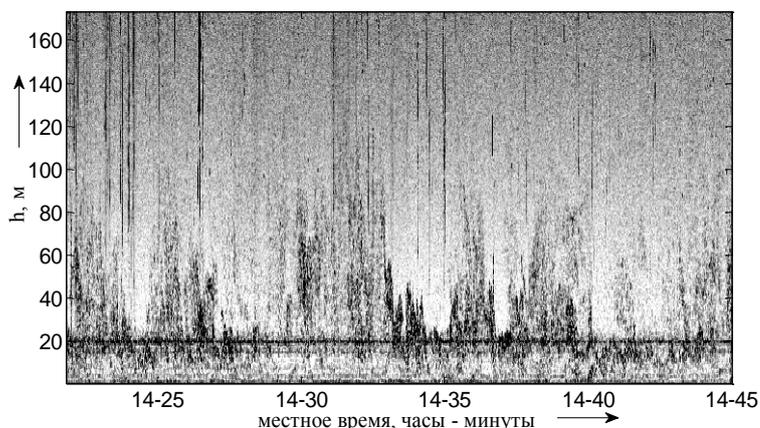


Рис. 1

В работе [4] рассмотрен один из возможных подходов к решению задачи обнаружения в системах акустического зондирования атмосферы, который основан на использовании информации о «чистой» помехе, которая предположительно содержится в выходном сигнале приемника эхосигналов, отнесенном к той области высот зондирования, для которой мощность выходного сигнала не зависит от высоты (на рис.1 это значения $h > 120\text{ м}$).

Однако такой подход можно рекомендовать к использованию только в тех случаях, когда невозможно получить информацию о мощности помех некоторым другим, независимым от процедуры зондирования способом.

Цель работы – исследование возможности получения информации о «чистой» помехе с помощью дополнительного канала в приемнике системы акустического зондирования атмосферы, частота настройки которого f_{∂} отличается от центральной частоты f_0 основного канала на некоторую величину Δf , то есть $\Delta f = f_0 - f_{\partial}$.

Формирование адаптивного порога обнаружения

Исследуемый подход к задаче обнаружения базируется на гипотезе о том, что основную нестационарность в статистические характеристики акустических помех вносят относительно мощные и короткие акустические импульсы, амплитуда либо сопоставима, либо превышает амплитуду полезного эхосигнала и которые, следовательно, имеют широкий частотный спектр, перекрывающий всю область рабочих частот акустического лоатора.

Для проверки выдвинутой гипотезы были проведены регулярные экспериментальные наблюдения. В процессе экспериментальных наблюдений был получен ряд записей акустических помех в месте расположения антенн станции акустического зондирования. Записи проводились сеансами, продолжительностью $t_3 = 1 \text{ час}$. Каждая запись акустических помех – это, по сути, реализация дискретной случайной величины $Un_{(0,\delta)}$, которая представлена простым статистическим рядом (u_1, u_2, \dots, u_N) дискретных значений, полученных в цифровом формате с тактовой частотой F_{WR} (или с интервалом времени $dt = 1/F_{WR}$).

На рис. 2 приведено несколько амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) приемного тракта, поясняющих реализацию рассматриваемого подхода.

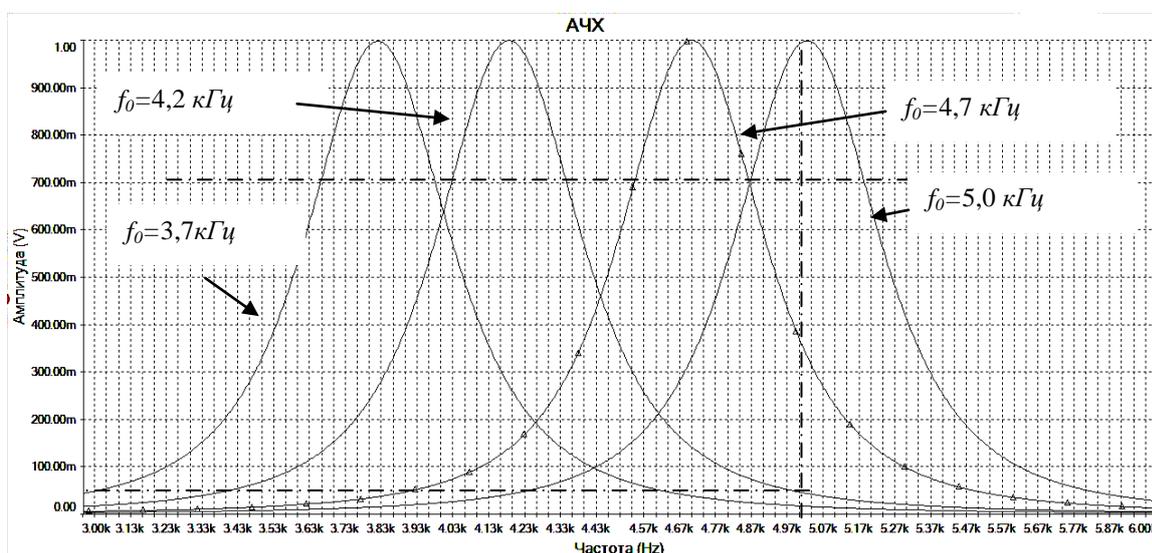


Рис. 2

На рис. 2 характеристика с центральной частотой $f_0 = 5 \text{ кГц}$ относится к основному частотному каналу, на частоте которого производится зондирование атмосферы, остальные АЧХ относятся к перестраиваемому дополнительному частотному каналу.

Для каждой разности частот $\Delta f_{0\delta}$ дополнительного и основного каналов приемника рассчитывались усредненные по времени коэффициенты корреляции $k_r(U_0, U_{\delta on})$ между сигналами помехи в основном U_0 и дополнительном $U_{\delta on}$ каналах, а также определялись коэффициенты затухания $d_{0\delta}$ сигнала основной частоты f_0 в дополнительном канале. Результаты расчетов приведены на рис. 3 и 4 соответственно.

В качестве критерия целесообразности использования рассматриваемого подхода для решения задачи обнаружения примем условие, представленное неравенством

$$d_{0\delta} \geq 25 \text{ dB} \quad (1)$$

Этому условию отвечают значения разности $\Delta f_{0\theta} \geq 0,8 \text{ кГц}$ или в данном случае $f_{\theta} \leq 4,2 \text{ кГц}$, коэффициент корреляции «мгновенных» значений помех основном и дополнительном каналах $k_r \leq 0,52$.

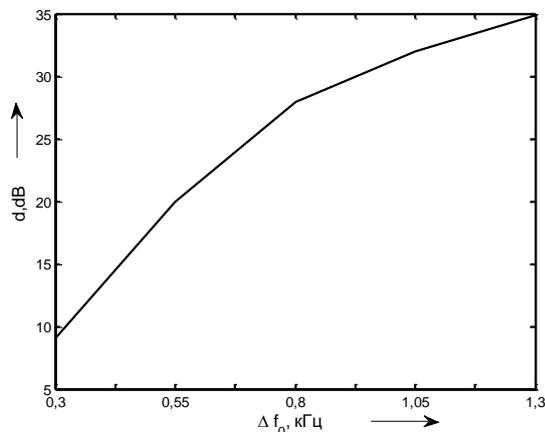


Рис. 3

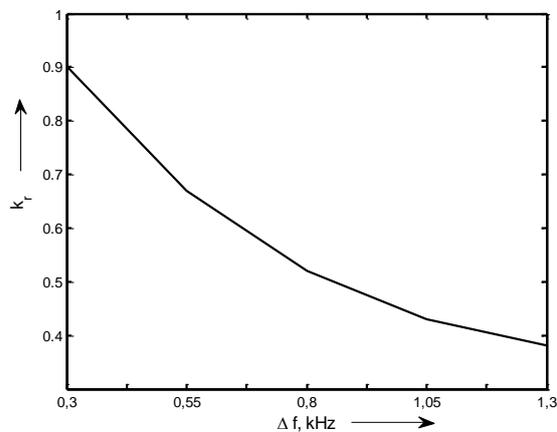


Рис. 4

Следовательно, осуществить компенсацию помех на уровне «мгновенных» отсчетов при данном подходе не представляется возможным. Поэтому в данном случае целесообразно попытаться использовать выходной сигнал $U_{\text{дон}}$ дополнительного канала в качестве исходных данных для формирования напряжения $U_{\text{пр}}$ порога обнаружения и решить, таким образом, задачу обнаружения сигналов с использованием «плавающего» или адаптивного порога.

Исходя из этого положения была выдвинута гипотеза, состоящая в том, что при «скользящем» усреднении сигналов помехи в обоих каналах коэффициент корреляции между усредненными процессами растет, то есть если

$$\bar{U}_{\text{дон},j}(E_{cp}) = \frac{\sum_{i=j}^{E_{cp}} U_{\text{дон}i}}{E_{cp}} \quad (2)$$

и

$$\bar{U}_{0,j}(E) = \frac{\sum_{i=j}^E U_{0i}}{E}, \quad (3)$$

где E_{cp} – интервал времени, в пределах которого производится усреднение последовательно расположенных измерений («окно» усреднения), то при $E_{cp} \rightarrow E_{cp \text{ max}}$ коэффициент корреляции отвечает условию $k_r \rightarrow 1$.

Если выдвинутая гипотеза подтверждается, то появляется возможность использовать зависимость (2) в качестве адаптивного порога обнаружения в системах акустического зондирования атмосферы в условиях нестационарных акустических помех.

Эффективность этого подхода будет определяться величиной $E_{cp \text{ max}}$. Для определения этой величины были проведены расчеты зависимости $k_r = F(E_{cp}, \Delta f)$ при $E_{cp} = n_i dt$ где $n_i = [1,50]$ или $E_{cp} = [0,2; 1]c$. Результаты расчетов для $\Delta f = [0,3; 0,8; 1,3] \text{ Гц}$ приведены на рис.5.

Для того чтобы проанализировать полученные зависимости, необходимо ввести еще один критерий k_{r0} , определяющий целесообразность использования дополнительного канала в приемном тракте как источника «чистого» шума, а именно – минимально допустимое значение коэффициента корреляции k_{r0} . Исходя из этого примем условие

$$k_r = k_{r0} \geq 0,8. \quad (4)$$

Как следует из результатов расчетов, приведенных на рис. 5, коэффициент корреляции k_r действительно растет при увеличении E_{cp} . Тогда, учитывая критерии (1) и (4) из результатов представленных на рис.5 получим, что разность частот основного и дополнительного каналов Δf и время усреднения сигналов в дополнительном канале E_{cp} должны отвечать неравенствам $\Delta f \geq 0,8 \text{ кГц}$ и $E_{cp} \geq 0,42 \text{ с}$ соответственно.

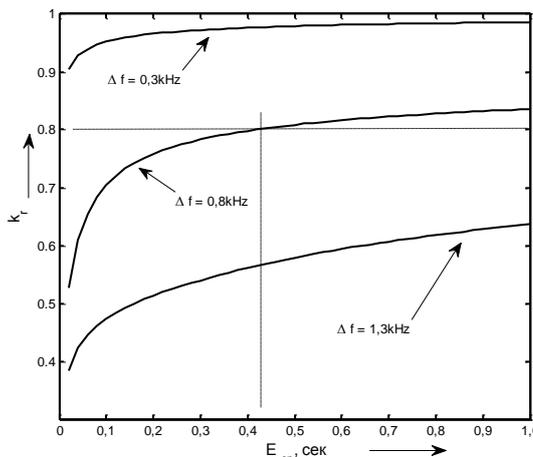


Рис. 5

Эффективность рассматриваемого подхода можно оценить путем сопоставления результатов расчета величин порога обнаружения U_{prg} для случаев постоянной величины порога обнаружения $U_{prg} = const$, рассчитанной по всей реализации помехи на интервале времени $t_s = 1 \text{ час}$ и для случая «слеящего» порога обнаружения $\bar{U}_{prg} = F(t)$, в качестве которого используем масштабированный выходной сигнал помехи дополнительного канала при равных значениях вероятности ложных тревог $H_{лт}$:

$$\bar{U}_{prg}(t) = k_{mul} \bar{U}_{дон}(E_{cp}, t), \quad (5)$$

где k_{mul} – масштабный коэффициент, при этом примем вероятность ложных тревог $H_{лт}$ одинаковой для этих двух случаев и равной $H_{лт} = 0,01$.

Для правильного выбора метода определения порога обнаружения рассмотрим распределения плотности вероятности $F(x)$ помех для рассматриваемых сеансов зондирования. В качестве оценок $F(x)$ для более наглядного графического представления используем распределения m_i^* абсолютного значения числа измерений, попавших в заданные интервалы значений $\Delta u_i = [u_i, (u_i + du)]$, которые определим в следующем виде: $du = (u_{max} - u_{min})/n$, где n – число интервалов, $i = (1 \dots n)$, примем $n = 50$.

На рис. 6 и 7 приведены гистограммы распределений m_{i0}^* и $m_{iдон}^*$ соответственно в логарифмическом масштабе по оси «у».

Из вида полученных распределений следует, что рассчитать величину порога обнаружения $U_{prg} = const$ и величину коэффициента k_{mul} аналитически не представляется возможным, так как полученные распределения не вписываются ни в одно из детерминированных распределений. В этом случае требуемые величины будем отыскивать численным методом из выражения

$$H_{лт} = P_{лт}^* = \frac{m_p^*}{N}, \quad (6)$$

где $P_{лм}^*$ – статистическая вероятность, m_p^* – число измерений, отвечающих неравенству $u_i > u_{prg}$, N – число членов исходного массива.

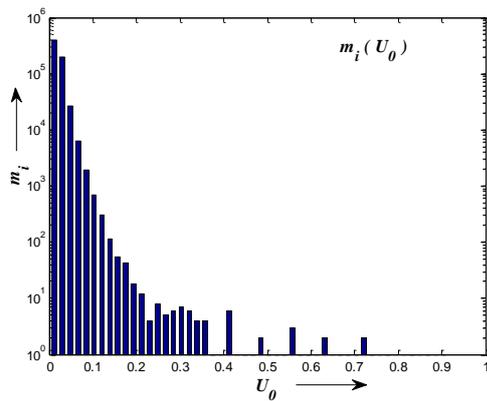


Рис. 6

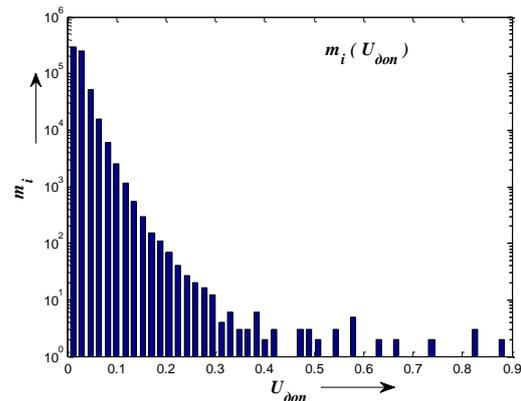


Рис. 7

Задаваясь последовательно значениями u_{prg} в диапазоне величин $u_{prg_i} = [0,05; 0,6]$ в (определяемых из распределений $m_p^*(u_i)$) с шагом $du_{prg} = 0,001$, рассчитываем значение $P_{лм}^*$. Для этого каждое значение члена массива исходных данных проверяется на соответствие неравенствам: $u_i > u_{prg_i}$ и $u_i \leq u_{prg_i}$. Если выполняется первое неравенство, то величина m_i увеличивается на единицу. При выполнении альтернативного неравенства в рассмотрение принимается следующее значение u_{i+1} . По окончании процедуры сравнения рассчитывается значение $H_{лм}$ в соответствии с выражением (6). Затем проверяются неравенства $P_{лм}^* \leq 0,01$ и $P_{лм}^* > 0,01$. Если в результате выполняется неравенство $P_{лм}^* > 0,01$, то задается следующее значение u_{prg} и расчет повторяется.

При выполнении неравенства $P_{лм}^* \leq 0,01$ фиксируется значение $u_{prg_i} = U_{prg} = const$ и дальнейшие расчеты прекращаются. В данном случае получено значение $U_{prg} = 0,0861$ в.

Расчет $k_{ми}$ проводится по аналогичной методике, но вместо u_{prg_i} берется соответствующий член массива $U_{i\text{дон}} \cdot k_{ми_i}$, где $k_{ми_i}$ устанавливается в диапазоне $k_{ми_i} = [1; 3]$ с шагом $dk_{ми} = 0,1$. В результате каждой итерации рассчитывается $P_{лм}^*$ при $k_{ми_i} = const$ для каждого члена массива. Итерации прекращаются при выполнении неравенства $P_{лм}^* \leq 0,01$. При этом фиксируется значение $k_{ми_i} = k_{ми}$. В данном случае, для $k_{ми}$ получено значение $k_{ми} = 2,63$. На рис. 8 приведены графики выполненных расчетов, из которых наглядно следует преимущество в использовании информации дополнительного частотного канала для формирования «следящего» порога обнаружения сигналов в системе акустического зондирования атмосферы.

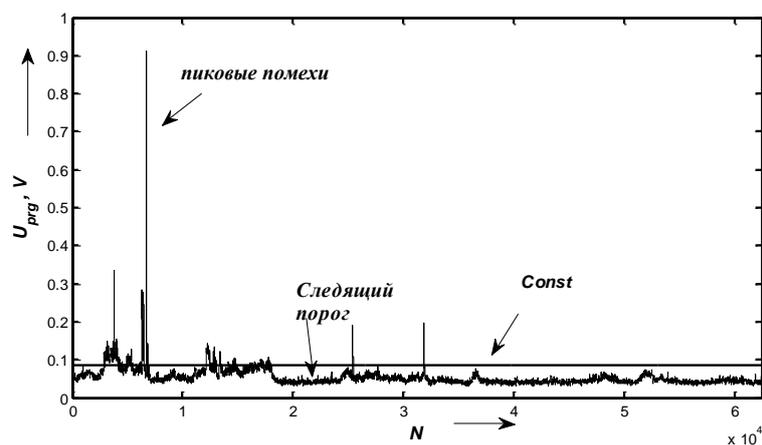


Рис. 8

Выводы

Основным результатом работы является обоснование возможности использования дополнительного частотного канала в приемном устройстве системы акустического зондирования атмосферы для формирования «следящего» порога обнаружения.

В графическом виде наглядно показано преимущество использования данного подхода к решению задачи обнаружения, состоящее в том, что примерно в 80 % длительности реализации значения «следящего» порога обнаружения остаются существенно меньшими, чем значения постоянного порога обнаружения.

Важно отметить, что применение «следящего» порога обнаружения позволяет, помимо решения задачи обнаружения, осуществить автоматическую отбраковку данных, которые относятся к импульсным помехам, амплитуда которых даже незначительно превышает уровень полезного сигнала.

В работе не рассмотрена формализация эффективности использования данного подхода, например, увеличение вероятности правильного обнаружения при прочих равных условиях. Решение таких задач, а также некоторые вопросы развития данного подхода будет предметом последующих работ на эту тему.

Список литературы: 1. *Brown E.H., Holl F.F.* Advances in atmospheric acoustics // *Rev. Geophys. Space Phys.* 1978. Vol. 16, №1. P.47-110. 2. *Леонидов, В.И.* Статистические характеристики эхосигналов акустического зондирования в зоне мегаполиса / В.И. Леонидов // *Восточно-европейский журнал передовых технологий.* – 2012. – №6/4, (60). – С.46-50. 3. *Леонидов, В.И.* Акустическое зондирование в задаче обнаружения и регистрации термодинамических возмущений в приземном слое атмосферы / В.И. Леонидов // *Радиотехника.* – 2013. – Вып. 175. – С. 7 – 4. *Леонидов, В.И.* Задача обнаружения сигналов в системах акустического зондирования атмосферы / В.И. Леонидов, О.В. Зубков // *Радиотехника.* – 2014. – Вып. 178. – С.13-19.

*Харьковский национальный
университет радиоэлектроники*

Поступила в редколлегию 25.01.2015