

## **Пассивно-активная система эколого-метеорологического мониторинга селитебных зон**

И.Н. Кириллов, В.В. Булкин

*Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета  
602264, Муром, ул. Орловская, 23. E-mail: [dedvanya@mail.ru](mailto:dedvanya@mail.ru)*

*Рассмотрены принципы построения и применения акустолокационной системы в решении задач экологического мониторинга селитебных зон. Разработана совмещённая пассивно-активная акустолокационная система эколого-метеорологического назначения. Проанализированы возможности организации пассивного и активного каналов системы. Рассмотрен алгоритм работы системы. Представлены результаты реализации системы. Приведены результаты измерения.*

*The principles of the construction and application of acoustic radar system in addressing environmental monitoring residential areas. Developed a combined passive and active acoustic locating system ecological and meteorological purposes. At opportunities for passive and active channels of the system. The algorithm of the system. The results of implementing the system. The results of the measurement.*

### **Введение**

К числу проблем, вызванных деятельностью человека, относится всё возрастающее шумовое воздействие на окружающую человека среду, на самого человека. Контроль этого воздействия и разработка мероприятий по снижению уровня шума требуют организации постоянного мониторинга акустического загрязнения, а, следовательно, и разработки методов и средств контроля, обеспечивающих проведение измерений и прогнозирования с достаточной точностью.

Представляется, что такая задача имеет две составляющих, заключающихся в обеспечении высокой точности и оперативности контроля характерных для данной зоны акустических шумов, и в получении данных сопутствующего характера (характеризующих обстановку в зоне контроля) для выработки прогноза распространения этого шума вглубь жилой зоны.

В докладе рассматриваются первые результаты работы пассивно-активной эколого-метеорологической акустолокационной системы, обеспечивающей непрерывный мониторинг локальной урбанизированной территории, анализ основных параметров акустического загрязнения и прогнозирование характера его распространения на прилегающие территории.

### **Принцип построения эколого-метеорологической системы**

Система строится на совмещении двух видов информации: экологической, характеризующей саму шумовую обстановку, и метеорологической, позволяющей прогнозировать возможность и направление распространения шума.

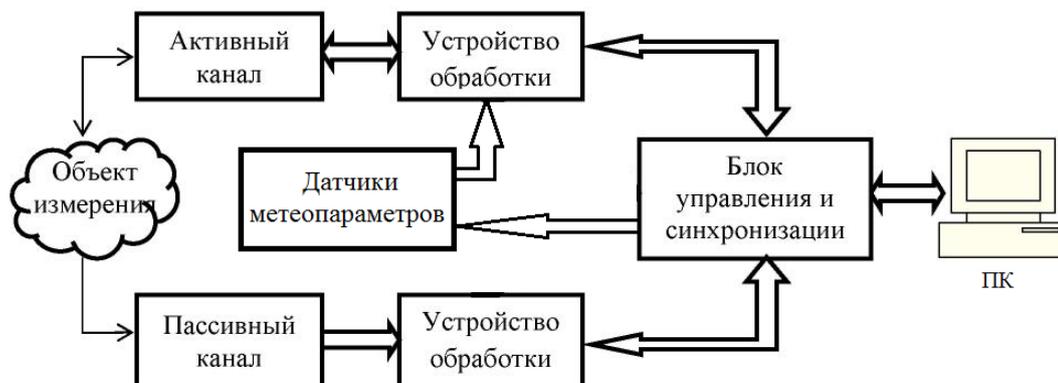
Экологическая информация представляет собой данные о характере шума в конкретной локальной зоне города. Её получение обеспечивается пассивным каналом, реализованным на принципе приёма, усиления и соответствующей обработки акустического сигнала.

Метеорологическая информация представляет собой данные о скорости и направлении ветра, а также о температуре и влажности воздуха, атмосферном давлении. Получение информации о параметрах ветра обеспечивается активным

каналом, реализованным на принципе активной локации, т.е. излучении и приёме зондирующего сигнала и соответствующей его обработке.

Контроль температуры, влажности и давления может быть проведён с использованием соответствующих датчиков.

Функциональная схема устройства изображена на рис. 1.



**Рис. 1. Функциональная схема пассивно-активной системы**

Управление работой всей системы, синхронизация работы активного канала, управление режимами работы пассивного канала и т.п. осуществляет блок управления и синхронизации. Окончательная обработка и визуализация реальной и прогнозной составляющих обеспечивается персональным компьютером (ПК).

Пассивный канал состоит из приёмника акустического сигнала, усилителя и блока предварительной обработки. Предварительная обработка может вводиться при решении различных задач, например, при коррекции амплитудно-частотной характеристики с целью учёта субъективных факторов восприятия шума (шкала измерения дБА).

Активный канал строится по схеме многопозиционного акустолокатора (АЛС). Особенностью рассматриваемой системы является определение локальных параметров, относящихся к точке расположения измерителя. С практической точки зрения локальные определения средних значений скорости ветра и её флуктуаций осуществляют с помощью метода прямого акустического канала, обеспечиваемого источником и одним или несколькими приёмниками акустического сигнала. Как правило, распространение сигнала в таком случае не превышает 1 м.

Датчик (антенная система) активного канала может строиться по принципу излучения сигнала в трёх направлениях с последующим сложением векторов профилей составляющих скорости ветра. Другой вариант – четырёхэлементная система с чередующимся переключением активных элементов в позиции «излучатель/приёмник» [1].

### **Практическая реализация системы**

Пассивный измерительный канал состоит из конденсаторного микрофона с микроэлектронным предусилителем заряда, формирователя, преобразователя напряжения, регулируемого усилителя с возможностью автоматической регулировки усиления, фильтра низких частот, аналого-цифрового преобразователя, цифрового сигнального процессора с интерфейсом USB и персонального компьютера [2]. Микрофон МРА-216 – конденсаторный, с встроенным микроэлектронным предусилителем заряда. Имеется возможность работы, как от внешнего источника питания, так и от USB-порта компьютера.

Главное достоинство устройства в сравнении со стандартной схемой измерения шумомером заключается в том, что переход от амплитудно-временной характеристики к амплитудно-частотной реализуется на аппаратном уровне алгоритмом быстрого преобразования Фурье (БПФ). Использование БПФ даёт возможность наблюдать и отслеживать не средние значения в заданной полосе частот, как это и происходит в стандартных шумомерах, а узкополосные амплитудные всплески на различных частотах, зачастую находящихся на краях октавного диапазона. Кроме того, рассматриваемый измерительный канал позволяет с большей, чем в стандартной схеме, точностью определить значения частоты и амплитуды пиков.

В качестве активного измерительного канала использован метеорологический модуль WXT520, который обеспечивает измерение скорости и направления ветра, осадки, атмосферное давление, температуру и относительную влажность воздуха.

Измерение параметров ветра осуществляется посредством системы из трёх ультразвуковых элементов, работающих в режиме передатчика/приёмника. Ультразвуковой сигнал излучается одним из элементов пары излучателей/приёмников (рассмотрим на примере любой из пар), фиксируется с некоторой задержкой вторым элементом пары, после чего сигнал излучается вторым элементом и принимается первым, который к этому времени переведён в режим приёмника, и в соответствии с выполняемыми функциями фиксирует этот сигнал. Время фиксации (прохождения) сигнала  $t_1$  и  $t_2$ . При отсутствии ветра время зависит от расстояния между элементами пары (длины измерительной базы)  $L$  и скорости звука в воздухе  $c$

$$t_1 = \frac{l}{c+V}, \quad t_2 = \frac{l}{c-V}, \quad (1)$$

где  $V$  – скорость ветра.

Разность времени прохождения в прямом и обратном направлениях, имеет вид

$$t_1 - t_2 = \frac{2lV}{c^2}. \quad (2)$$

Аналогично проходит измерение по остальным парам элементов.

Вычисление значений составляющих скоростей ветра, определяемых выбранной парой элементов, производится по соотношению

$$V_i = \frac{c^2(t_{1i} - t_{2i})}{2l_i}, \quad (3)$$

где  $i$  – номер канала.

Применение такого принципа обеспечивает компенсацию влияния высоты расположения датчиков, температуры или влажности воздуха. Тактовая частота опроса датчиков – 4 Гц.

Контроль сопутствующих метеопараметров производится набором соответствующих датчиков, устанавливаемых в одной конструкции с измерителем параметров ветра.

Обработка информации осуществляется посредством программы, синтезированной на базе системы ZETView, обеспечивающей расчёт коэффициента затухания сигнала при его распространении вглубь селитебной территории.

### **Некоторые результаты практического применения системы**

Реализованная по рассмотренной выше схеме измерительная система прошла апробацию в экспериментальных работах по контролю уровня акустического загрязнения на наиболее шумных территориях г. Муром.

Как следует из анализа шумовых спектрограмм, записанных на улицах города Мурома, кроме общего фонового шума присутствует множество непостоянных

узкополосных амплитудных выбросов, относящихся к разным частотам, что, безусловно, затрудняет обработку полученной информации.

Сложность обработки заключается в следующем. При традиционных измерениях шумомер фактически представляет собой микрофонный датчик и вольтметр, индикатор которого отградуирован в децибелах. Применяемые электрические фильтры используются для измерения уровней звукового давления в октавных или долеоктавных (третьоктавных) полосах частот. Размер выбранного диапазона и соответствующие этим диапазонам средневзвешенные частоты определяются рядом R10 по ГОСТ Р 53188.1-2008 [3].

Такой принцип измерения заведомо вносит определенную погрешность, поскольку любой вольтметр независимо от того аналоговый он или цифровой, показывает усреднённое значение напряжения (амплитуды).

Практическая оценка такой ошибки может быть проиллюстрирована представленным на рис. 2. срезом одной из таких спектрограмм.

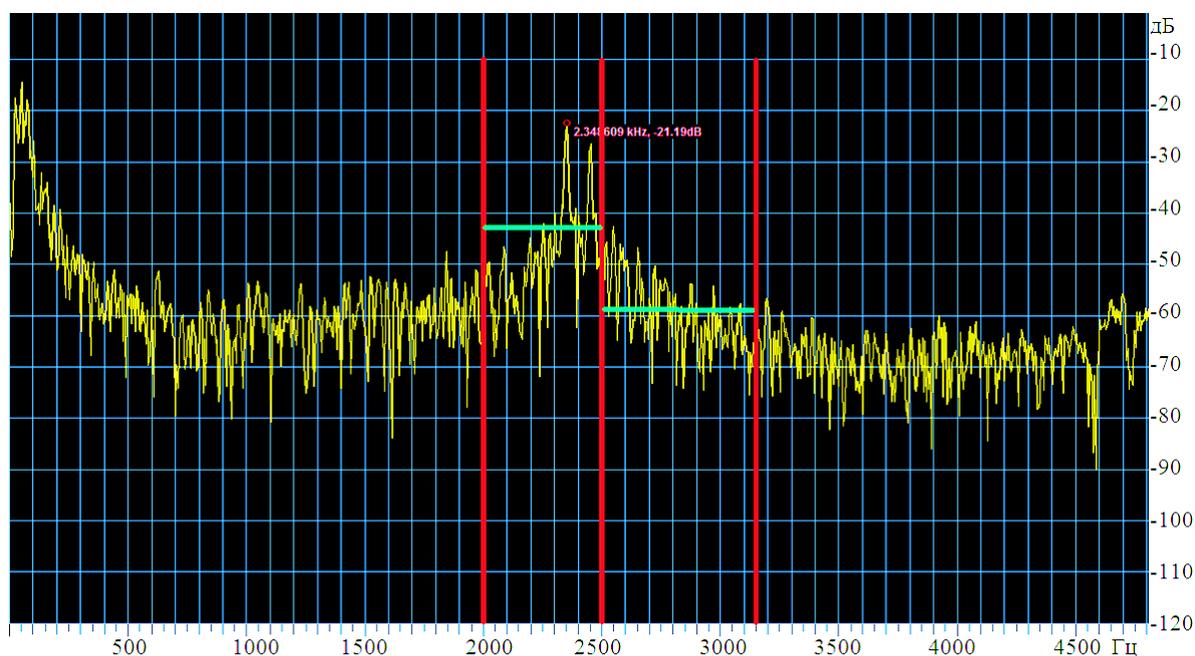


Рис. 2. Мгновенный срез спектрограммы

Вертикальными линиями выделены граничные полосы частот для обычного шумомера с третьоктавным фильтром, в которые попадает участок с амплитудным всплеском. Отметим его в двух поддиапазонах 2-2,5 кГц и 2,5-3,15 кГц согласно ряда R10. Горизонтальными линиями показаны усреднённые значения амплитуд в данных диапазонах, т.е. именно те значения, которые и зафиксируются обычным шумомером.

Из рисунка видно, что разница между амплитудой всплеска и средним значением, которую не зафиксирует шумомер, составляет порядка 20 дБ.

Для оценки влияния такого расхождения результатов на реальную обстановку в селитебной зоне рассчитаем значения затухания звука чистого тона на местности, с учетом реальных метеорологических условий.

Известно, что затухание звука чистого тона характеризуется: затуханием из-за геометрической дивергенции (из-за расхождения энергии при излучении в свободное пространство)  $A_{div}$ ; затуханием из-за звукопоглощения атмосферой  $A_{atm}$ ; затуханием из-за влияния земли  $A_{gr}$ ; затуханием из-за экранирования  $A_{bar}$ ; затуханием из-за влияния прочих эффектов  $A_{misc}$  [4]

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc} \quad (4)$$

Затухание из-за звукопоглощения в атмосфере на расстоянии  $d$  от источника шума определяют по формуле

$$A_{atm} = \frac{\alpha d}{1000}. \quad (5)$$

Коэффициент затухания в атмосфере  $\alpha$  определяется по формуле

$$\alpha = 8,686 \cdot f^2 \left( \left[ 1,84 \cdot 10^{-11} \left( \frac{P_a}{P_r} \right)^{-1} \left( \frac{T}{T_0} \right)^{\frac{1}{2}} \right] + \left( \frac{T}{T_0} \right)^{-\frac{5}{2}} \cdot \left\{ 0,01275 \left[ \exp \left( \frac{-2239,1}{T} \right) \right] * \left[ f_{rO} + \left( \frac{f^2}{f_{rO}} \right) \right]^{-1} + 0,1068 \left[ \exp \left( \frac{-3352,0}{T} \right) \right] \left[ f_{rN} + \left( \frac{f^2}{f_{rN}} \right) \right]^{-1} \right\} \right), \quad (6)$$

где  $f$  – частота звука, Гц;

$f_m$  среднегеометрическая частота;

$P_r = 101,325$  кПа – эталонное (стандартное) атмосферное давление;

$P_a$  – атмосферное давление, кПа;

$T$  – температура воздуха, К;

$T_0 = 293,15$  К – эталонная температура воздуха;

$f_r$  – релаксационная частота, Гц;

$O$  и  $N$  – индексы, обозначающие, соответственно, кислород и азот.

Опуская промежуточные вычисления получим, что коэффициент затухания звука на данной частоте составит  $A=11,136$  дБ/км.

Рассчитаем ошибку оценочных расчётов в определении дальности распространения звука на местности при заданном уровне в 20 дБ:

$$L = \frac{20 \text{ дБ}}{A} = \frac{20 \text{ дБ}}{11,136 \text{ дБ/км}} = 1,8 \text{ км.}$$

### Построение системы

Алгоритм вычисления коэффициента затухания работает следующим образом (см. рис. 3). После того как за заданный промежуток времени произошла фиксация максимального спектра, данные с амплитудно-частотной информацией в виде таблицы (матрицы) преобразовываются поэлементно в две строки, одна содержит информацию о частоте, другая информацию об амплитуде. То есть если спектральное разрешение равно 10 Гц, то строка с информацией о частоте будет иметь вид 10; 20; 30; 40; ...1000, причём данные значения выдаются поэлементно. Когда на входе алгоритма расчёта коэффициента затухания появилась информация о частоте, влажности, давлении, температуре атмосферного воздуха, алгоритм производит вычисления коэффициента затухания звука при реальных условиях состояния среды по (6). Расчёт дальности распространения звука  $L$  производится с использованием данных об амплитуде звука  $A$  на данной частоте и коэффициента затухания звука в атмосфере  $\alpha$  по формуле (5).

Далее информация о дальности распространения звука добавляется в таблицу (матрицу) поэлементно. Затем, после того, как таблица с информацией о дальности распространения звука в атмосфере (зоне поражения) будет заполнена, данные отображаются в виде графика.

На рис. 4 приведён внешний вид интерфейса программы управления и измерения.

### Заключение

Представленная система позволяет измерять и отображать мгновенные значения акустического сигнала (шума), а так же за определённое время фиксировать его максимальные значения во всём диапазоне частот с заданным разрешением (левый

график). На правом графике отображается дальность распространения звука (зоны поражения) в зависимости от частоты. Для расширения возможности и унификации системы имеется индикация метеорологических параметров, таких как скорость и направление ветра, температура, влажность, давление. Так же в программе имеется возможность сохранения результатов измерения в файл для последующей обработки.

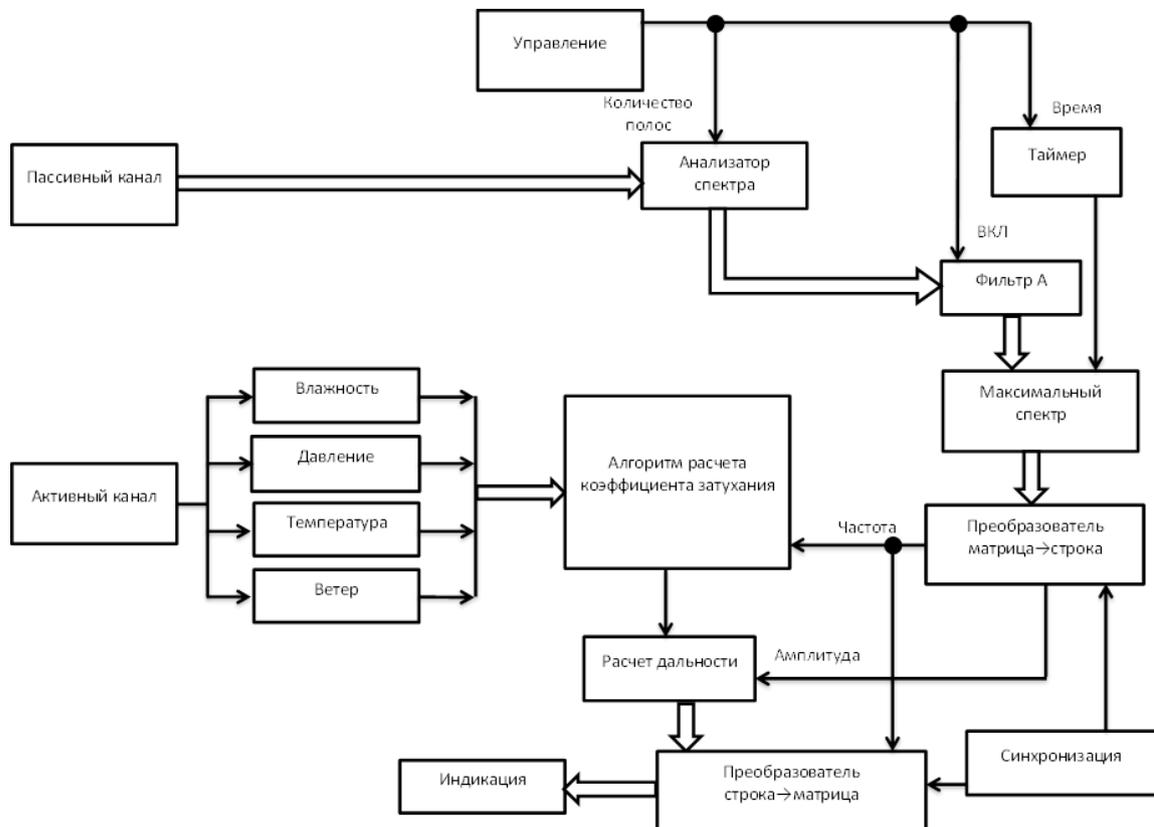


Рис. 3. Алгоритм работы системы

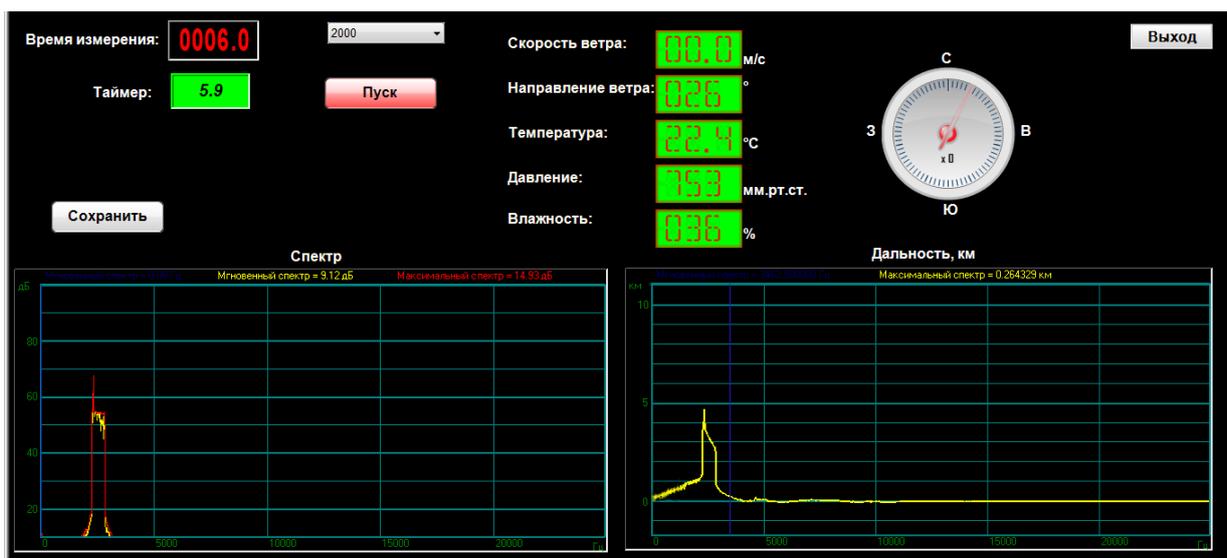


Рис. 4. Внешний вид интерфейса программы управления

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №14-08-00186.*

### **Литература**

1. Булкин В.В., Беляев В.Е., Кириллов И.Н. Модель пассивно-активной акустолокационной эколого-метеорологической системы / Проектирование и технология электронных средств, 2011, №1. –С.16-19.
2. Булкин В.В., Кириллов И.Н., Беляев В.Е. Пассивный канал пассивно-активной системы мониторинга урбанизированного пространства / Радиотехнические и телекоммуникационные системы, №4, 2012. –С.47-51.
3. ГОСТ Р 53188.1-2008. Шумомеры. Часть 1. Технические требования. -М.: Стандартиформ, 2009. - 32 с.
4. ГОСТ 31295.1-2005. Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 1. Расчёт поглощения звука атмосферой. –М.: Стандартиформ, 2009. - 35 с.