

Портативная система мониторинга экологической обстановки урбанизированной среды

В.В. Булкин¹, И.Н. Кириллов²

¹ Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета

² Муромский завод радиоизмерительных приборов, 602264, Муром, ул. Орловская, 23, E-mail: dedvanya@mail.ru

Рассматривается система мониторинга акустического загрязнения локальной урбанизированной территории. Обоснована структурная схема системы, включающая канал получения информации о самом акустическом шуме (измерительный канал), канал получения метеорологической информации (корректирующий канал), вычислительное устройство. Рассмотрены особенности построения каналов и устройства вычисления. Приведён пример практической реализации системы. Приведены результаты некоторых измерений.

A system of monitoring noise pollution of the local urban area. Substantiates the block diagram of the system, including channel information on the acoustic noise (measuring channel), the channel reception of meteorological information (correction channel), a computing device. The features of the construction of canals and calculation device. An example of the practical implementation of the system. The results of some measurements.

Построение систем мониторинга окружающей среды невозможно без использования радиоэлектронных контрольно-измерительных средств. Их применение позволяет эффективно решать задачи получения, обработки, хранения и передачи информации, её визуализации. Это определяет их широкое применение в прикладных системах, таких, как защита среды обитания, обеспечение безопасности и т.д.

Среди главных экологических опасностей большого города третье по важности место занимает акустическое загрязнение. Многочисленные исследования показывают, что акустический шум оказывает существенное неблагоприятное воздействие на психологическое и биологическое здоровье человека, состояние социальной среды [1]. В силу указанных причин создание систем мониторинга акустошумового загрязнения на селитебных территориях является актуальной задачей [2].

Особенно большое влияние на формирование общей шумовой обстановки в населённых пунктах оказывает транспорт. Например, в далеко не самом крупном городе Муроме интенсивность движения на некоторых перекрёстках такова, что обеспечивает уровень шума более 100 дБА. По разным оценкам ежегодный прирост уровня шума на городских территориях доходит до 0,5 дБ.

Такое положение дел ставит задачу разработки высококачественного аппаратного средства для осуществления мониторинга в урбанизированных зонах, т.е. переносной (портативной) контрольно-измерительной системы для измерения уровня городского шума.

В докладе рассматривается система мониторинга акустошумового загрязнения локальной урбанизированной территории, обеспечивающая контроль загрязнений и прогнозирование характера их распространения в данной локальной зоне.

Принцип построения системы

Проведение экологического мониторинга подразумевает реализацию двух основных его составляющих – наблюдения и контроля. Исходя из этого можно сделать вывод: любая электронная система мониторинга должна содержать такие основные элементы, как измерительный канал (каналы - при контроле совокупности параметров) и

систему анализа полученных данных. Кроме того, такая система может содержать ряд других составляющих.

Применительно к рассматриваемой системе, очевидно, что измерение уровня шума должно обеспечиваться измерительным каналом, реализованным на принципе приёма, усиления и соответствующей обработки акустического сигнала, а для правильной оценки действительного уровня шума и его возможного влияния на окружающую среду очень важно с высокой долей вероятности определить уровень затухания звука на местности, поскольку это обеспечит возможность выработки прогноза распространения его вглубь селитебных территорий.

Зависимость коэффициента затухания звука в атмосфере от внешних условий можно представить следующим образом

$$\alpha = \Phi_n(\bar{I}_n, \bar{T}_n, \bar{H}_n, \bar{P}_n, \bar{V}_n) + S, \quad (1)$$

где $\Phi_n(\bar{I}_n, \bar{T}_n, \bar{H}_n, \bar{P}_n, \bar{V}_n)$ – фактор коэффициента затухания звука в атмосфере;

\bar{I}_n – вектор параметров звука,

$\bar{I}_n = \{F, A\}$,

F – частота,

A – амплитуда (мощность) сигнала;

\bar{T}_n – вектор параметра температуры воздуха;

\bar{H}_n – вектор параметра влажности воздуха;

\bar{P}_n – вектор параметра атмосферного давления;

\bar{V}_n – вектор параметров ветра $\bar{V}_n = \{N, c\}$,

N – направление ветра,

c – скорость ветра;

S – параметр среды (особенности местности, здания, растительные насаждения).

Влияние метеорологических параметров на характер распространения акустического сигнала на расстояние d связано с коэффициентом затухания

$$A_{att.m} = \alpha \cdot d. \quad (2)$$

Оценка влияния метеорологических параметров на распространение звука в среде была дана в [3]. При моделировании учитывались три основных параметра: температура, влажность и давление. Анализ проводился без учёта влияния стационарных параметров среды (экраны, поглотители и пр.), а так же без учёта влияния вектора параметров ветра \bar{V}_n . По результатам моделирования можно сделать вывод, что наибольшее влияние на затухание сигнала оказывает изменение температуры окружающей среды: изменении параметра \bar{T}_n в пределах от -20 °С до $+30$ °С приводит к изменению $A_{att.m}$ на частотах 2000, 4000 и 10000 Гц в пределах, соответственно, от 10 до 30 дБ/км, от 25 до 65 дБ/км, от 30 дБ/км до 170 дБ/км.

Таким образом, система должна строиться на совмещении двух видов информации: экологической, характеризующей саму шумовую обстановку, и метеорологической. Метеорологическая информация включает данные о температуре окружающей среды, влажности и давлении в воздушной среде, а также о скорости и направлении ветра. Для получения данных о метеопараметрах используется т.н. корректирующий канал.

Измерительный канал

Стандартный шумомер, обычно используемый для контроля акустического шума, фактически представляет собой микрофонный датчик и вольтметр, снабжённый элек-

трическими фильтрами для измерения уровней звукового давления в октавных или третьоктавных полосах частот, индикатор которого отградуирован в децибелах.

Такой принцип измерения заведомо вносит погрешность в получаемый результат, поскольку любой вольтметр, независимо от того аналоговый он или цифровой, показывает усреднённое значение напряжения (амплитуды) в измеряемой полосе частот ряда R10.

Предложенное устройство состоит из конденсаторного микрофона с микроэлектронным предусилителем заряда, формирователя, преобразователя напряжения, регулируемого усилителя с возможностью автоматической регулировки усиления (APУ), фильтра низких частот (ФНЧ), аналого-цифрового преобразователя (АЦП), цифрового сигнального процессора (ЦСП) с интерфейсом USB и персонального компьютера (ПК) [4].

Микрофон МРА-216 – конденсаторный, с встроенным микроэлектронным предусилителем заряда. Формирователь преобразует высокоимпедансный зарядовый сигнал с микрофонного датчика в низкоимпедансное напряжение для последующей передачи и обработки. Усилитель имеет функцию APУ, которая управляется процессором ЦСП, что позволяет значительно расширить динамический диапазон измерений. Для защиты полезного сигнала от высокочастотных помех применён ФНЧ. Центральный сигнальный процессор выполняет функцию управления APУ, а также обеспечивает обработку данных, полученных с выхода АЦП.

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 [4,5].

Функциональная схема канала приведена на рис. 1.



Рис. 1. Функциональная схема измерительного канала

Корректирующий сигнал

Функционально канал состоит из двух измерительных трактов: тракта для измерения состояния среды и тракта для измерения параметров движения воздушных масс (анеморумбометра).

Измерительный тракт состояния среды состоит из набора датчиков и обеспечивает канал информацией о температуре и влажности воздуха, атмосферном давлении. Измерительные датчики передают информацию на центральный процессор (ЦП) для измерения и последующей обработки.

В основе измерительного тракта для измерения движения воздушных масс лежит датчик анеморумбометра, работающий на основе использования ультразвукового (УЗ) сигнала и нескольких УЗ датчиков. При измерении времени прохождения прямой волны излучатель подключается к модулятору УЗ, а приёмный датчик - к усилителю приёмника. Пришедший сигнал после усиления и фильтрации поступает на компаратор, а затем на ЦП, который и производит измерение времени прохождения звуковой волны. Далее процедура повторяется для другой пары датчиков, которые последовательным переключением попеременно выполняют функции, как излучателя, так и приёмника.

После опроса всех пар датчиков ЦП вычисляет скорость и направление ветра.

Центральный процессор активного канала через шину данных USB передаёт метеорологическую информацию на центральное вычислительное устройство (ЦВУ). Питание осуществляется через шину USB, поскольку имеет низкое энергопотребление (до 230 мА).

Вычисляемые скорости и направления ветра не зависят от высоты, температуры и влажности, которые уравниваются в процессе вычисления.

Вычислительное устройство

Поток данных с измерительного канала попадает на анализатор спектра, в котором происходит преобразование сигнала путём перехода от амплитудно-временной к амплитудно-частотной характеристике. Возможность выбора спектрального разрешения осуществляется пользователем путём задания N количества полос во всём звуковом спектре. Таким образом, для спектрального разрешения в 10 Гц с верхней границей 10 кГц, число N будет равняться 1000. Далее поток данных, в зависимости от назначения пользователя, может пропускаться через цифровой фильтр «А» с амплитудно-частотной характеристикой, соответствующей особенностям восприятия человеком звуков разных частот. После этого алгоритмом обнаружения и вычисления максимального спектра за заданный пользователем интервал времени происходит измерение и фиксация мгновенного спектра.

Из потока данных измерительного канала формируется информация о влажности, давлении, температуре атмосферного воздуха и параметрах ветра. После присвоения метеорологическим параметрам соответствующих переменных, данные попадают в программу расчёта коэффициента затухания.

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 из которых содержит информацию о частоте, другая - информацию об амплитуде. Это означает, что 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 блока расчёта коэффициента затухания появилась информация о частоте, влажности, давлении, температуре атмосферного воздуха, алгоритм производит вычисления коэффициента затухания звука при реальных условиях состояния среды. Расчёт дальности распространения звука d производится с использованием данных об амплитуде звука на данной частоте и коэффициента затухания звука в атмосфере.

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.

Реализация системы

Реализация разработанной измерительной системы осуществлена в основном виде с использованием низкочастотного анализатора спектра на основе ZET017-U2 (измерительный канал), ультразвуковой метеостанции WXT520 Vaisala (корректирующий канал), мобильного персонального компьютера – МПК – (ЦВУ) [6].



Рис. 2. Основные составляющие эколого-метеорологической системы

Связь между устройствами и МПК осуществляется через интерфейс USB. Также МПК при помощи специализированного программного обеспечения выполняет функции управления каналами и обработки результатов измерений [7]. Программа управления разработана с использованием программного пакета ZETView, относящегося к SCADA системам и представляющего собой высокоэффективную среду графического программирования для систем сбора и обработки данных от устройств, подключенных к персональному компьютеру.

На рис. 2 показаны основные составляющие системы.

Предусмотрена возможность измерения и отображения мгновенных значений акустического сигнала (шума), а также фиксации максимальных значений во всём диапазоне частот за определённый, задаваемый таймером промежуток времени с заданным разрешением (представлено на левом графике интерфейса системы). Анализ данных позволяет дать оценку коэффициента затухания (2) и получить прогноз возможного распространения шума вглубь жилой зоны с учётом зафиксированных показателей, соответствующих конкретной территории и конкретным условиям (представлено на правом графике интерфейса). Для расширения возможности и унификации системы в программе имеется индикация метеорологических параметров: скорость и направление ветра, температура, влажность, давление. Так же в программе имеется возможность сохранения результатов измерения в файл для последующей обработки.

Некоторые результаты измерений

В нескольких зонах города, выявленных в процессе предварительного анализа, были проведены измерения уровня шума. Контроль проводился в утреннее (начало рабочего дня), вечернее (конец рабочего дня) и ночное время.

На рис. 3 и 4 представлены спектр и уровень шума в утренние и ночные часы. В первом случае показаны спектры средних и максимальных значений уровня шума. Во втором случае, в силу отсутствия интенсивного движения, показаны только средние значения, мало отличающиеся от максимальных. Во всех случаях период контроля составлял 1200 секунд.

На представленных графиках хорошо видно, что в утреннее время практически во всём рассматриваемом диапазоне частот (20-5000 Гц) максимальные значения шума превышают не только «санитарную» норму 85 дБА (исключение – узкий диапазон 4100-4600 Гц), но и порог в 100 дБА (диапазон 500-1300 Гц).

Вместе с тем, средние за период измерения значения шума только в некоторой части частотного диапазона (700-1200 Гц) доходят до уровня 85 дБА. В целом же средние значения шума в наиболее чувствительной для человека части диапазона 1000-4000 Гц плавно уменьшаются от 85 до 65 дБА.

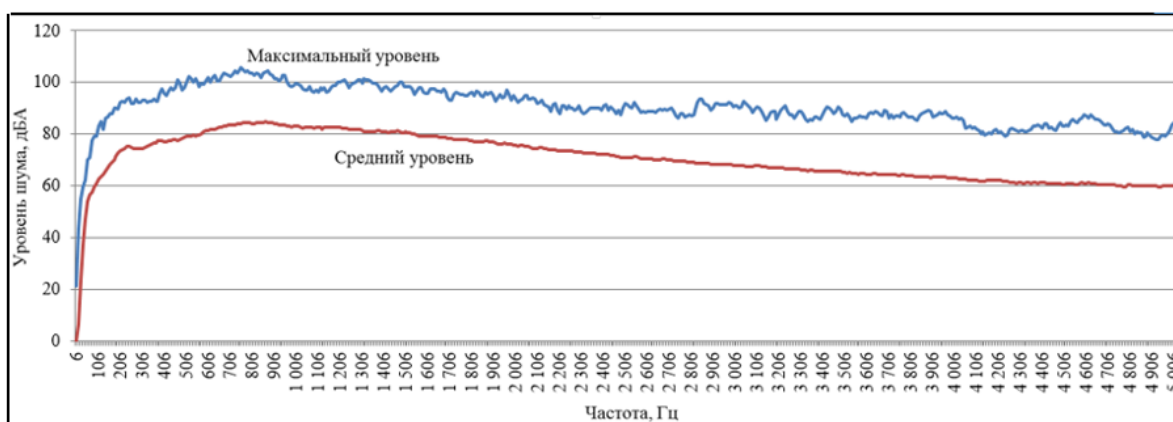


Рис. 3. Уровень шума в утреннее время

В ночное время в силу отсутствия интенсивного движения уровень шума даже в пиковых значениях не превышает 50 дБА, что по общепринятой шкале соответствует обычному разговору и обозначается как «Отчётливо слышно». Наличие такого всплеска именно в самой низкочастотной части диапазона может быть объяснено, например, наличием движения воздуха или биениями сигналов при встречном движении машин. Могут такие всплески объясняться и влиянием работы промышленного предприятия, расположенного в зоне проведения измерений. В любом случае наличие всплеска в этой области диапазона должно быть подвергнуто сомнению ещё и в силу ограничения гарантированного частотного диапазона используемого микрофона частотой 20 Гц.

В целом же уровень шумов в ночное время вполне соответствует требованиям СНиП 23-03-2003 «Защита от шума» в части допустимого максимума по нормам для жилых помещений ночью, с 23 до 7 ч., следовательно, можно считать, что в расположенных поблизости жилых домах шум от автотранспорта практически не проявляется.

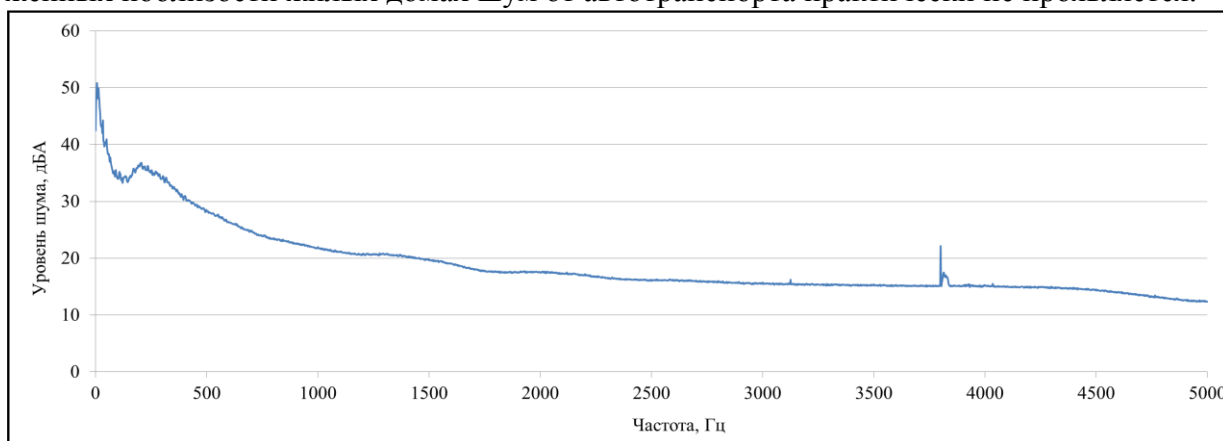


Рис. 4. Уровень шума в ночное время (среднее значение)

Заключение

Полученные данные о характере и параметрах акустического шума несколько отличаются от результатов, полученных в той же зоне городской среды три года назад [11]. Однако отличие не представляется существенным и может объясняться, например, различиями, обусловленными особенностями временем года (в [11] представлены дан-

ные, полученные в тёплое время года, а в данной статье результаты измерений, выполненных в декабре, при наличии снежного покрова, который может выполнять функции шумопоглотителя. Более подробный анализ возможен в условиях большего совпадения условий среды и будет являться предметом последующих исследований.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 14-08-00186 и 12-08-43134.

Литература

1. Соловьёв Л.П., Булкин В.В., Шарапов Р.В. Существование человека в рамках техносферы / Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2012, №1(11). -С.31-39.
2. Булкин В.В., Соловьёв Л.П., Шарапов Р.В., Первушин Р.В., Кириллов И.Н. Проблемы построения систем мониторинга акустического загрязнения селитебных зон / Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2014, №1(19). –С.48-53.
3. Кириллов И.Н., Булкин В.В. Влияние метеорологических параметров на дальность распространения акустического шума в селитебных зонах // IV Всероссийские Армандовские чтения: Радиофизические методы в дистанционном зондировании сред / Материалы VI Всеросс. научн. конф. (Муром, 27-29 мая 2014 г.) – Муром: ИПЦ МИ ВлГУ, 2014. -С.278-281.
4. 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.
5. Булкин В.В., Кириллов И.Н. Пассивно-активная система мониторинга акустического загрязнения локальной урбанизированной территории / Радиотехнические и телекоммуникационные системы, №4, 2014. –С.48-55.
6. Bulkin V.V., Kirillov I.N. Environmentally-atmospherical monitoring of industrial machine builder state / Applied Mechanics and Materials, Vol. 770 (2015). -pp. 686-689.
7. Костров В.В., Чекушкин В.В., Булкин В.В. Сопряжение пассивно-активного радиолокатора с персональным компьютером / Измерительная техника, №6, 2000, С.50-52.
8. Булкин В.В., Калиниченко М.В. Возможности снижения шума на открытых площадках машиностроительных предприятий и селитебных зон / Инновационные технологии и экономика в машиностроении // Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции, Юргинский технологический институт, 21–23 мая 2015 г. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – С.343-346.