

Возможности калибровки системы дистанционной оценки акустических сигналов в городской среде

С.С. Козлов, Я.Д. Молчанов, Л.Ю. Ермакова, В.В. Булкин

*Муромский институт Владимирского государственного университета
602264, г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская 23,*

*Представлены результаты исследования возможности обеспечения достоверности дистанционных измерений при оценке распространения акустических сигналов в городской среде. Даны общие рекомендации по построению системы с учётом необходимости полноспектрального режима измерений. Предложено использовать калибратор микрофона. С использованием смоделированной системы измерения получено, что абсолютная погрешность калибровки на расстоянии до 240 метров лежит в диапазоне $-0,25 \leq \Delta x_i \leq 0,65$. Сделан вывод о достаточной степени достоверности подобных измерений.
Ключевые слова: акустический сигнал, калибровка, система измерения*

Calibration capabilities of a remote acoustic signal assessment system in an urban environment

S.S. Kozlov, Ya.D. Molchanov, L.Yu. Ermakova, V.V. Bulkin

Murom Institute of Vladimir State University.

The results of a study of the possibility of ensuring the reliability of remote measurements in assessing the propagation of acoustic signals in an urban environment are presented. General recommendations are given for the construction of the system, taking into account the need for a full-spectrum measurement mode. It is suggested to use a microphone calibrator. Using a simulated measurement system, it was found that the absolute calibration error at a distance of up to 240 meters lies in the range of $-0.25 \leq \Delta x_i \leq 0.65$. The conclusion is made about the sufficient degree of reliability of such measurements.

Keywords: acoustic signal, calibration, measurement system

Введение

Особенности образования и распространения акустических волн неоднократно рассматривались в научной и справочной литературе ([1,2] и др.). Большое внимание уделяется контролю акустических сигналов в производственных помещениях [3]. Также, известно применение акустических волн для зондирования приземного слоя атмосферы [4].

С практической точки зрения актуальной является задача контроля акустических сигналов в городской среде. Источниками таких сигналов могут быть как транспортные средства, так и строительные или иные производственные работы [5]. Особый интерес в таких случаях имеет оценка распространения акустических сигналов (шума) вглубь жилой зоны города.

Для проведения таких работ обычно применяют стандартную измерительную технику (шумомеры). Однако, как показано в [6], особенности стандартных методик, определяющих измерения на средневзвешенных частотах октавных диапазонов [3], могут приводить к существенным ошибкам в оценке уровней звукового давления шумов.

Решением этих проблем может стать: 1) проведение измерений в полноспектральном режиме, и 2) получение оценок затухания (ослабления)

акустического сигнала на типовых трассах распространения шума от источника вглубь жилых зон.

Таким образом, разработка средств контроля акустических шумов и оценки затухания на конкретных участках (в режиме реального времени) является задачей важной и актуальной.

Построение измерителя

Контроль уровня шума или его изменения в пределах трассы распространения вглубь жилых зон возможен при условии расположения измерительных микрофонов вдоль этой трассы хотя бы в двух характерных точках: в зоне источника акустического шума и на некотором расстоянии от источника в направлении распространения.

Такая схема измерений предполагает, что: либо используются два независимых измерителя, либо один, но имеющий минимум два датчика (микрофона) с возможностью передачи информации о результатах в основной блок прибора на относительно большие расстояния.

В случае использования двух независимых измерителей полученные значения (результаты измерений) должны сохраняться в базе данных, а сопоставление результатов может осуществляться только при последующей обработке в условиях лаборатории. Одновременно необходимо решить вопрос с подтверждением сопоставимости результатов по обоим измерителям (оценка точности измерений).

При использовании одного прибора и двух микрофонов необходимо обеспечить связь этих микрофонов с базовым измерителем. Использование радиосвязи снимает вопросы, возникающие в связи с качеством проводной связи (кабеля), однако требует решения совокупности других проблем, в том числе - обеспечения достоверности результатов или погрешности измерений.

Общая структура схемы измерения может быть такой, как показано на рис. 1.

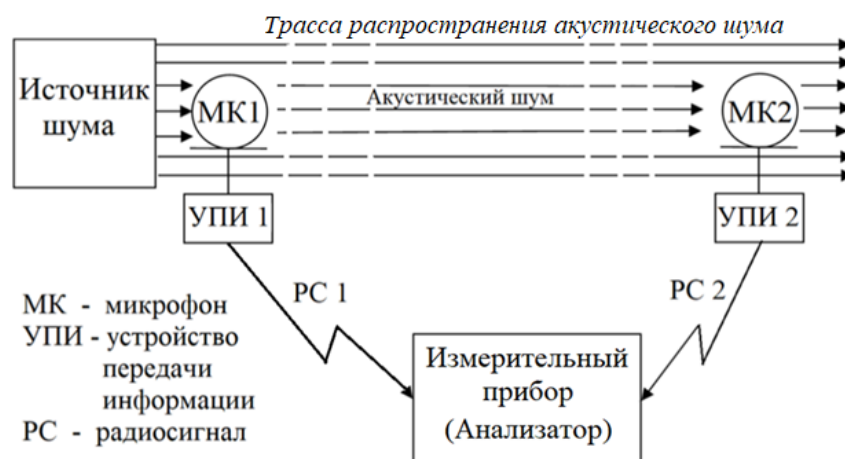


Рис. 1. Общая структура схемы измерения

Рассмотрим возможности обеспечения достаточной степени точности (достоверности) измерений. Совокупность других проблем, возникающих при практической реализации такой системы (выбор частоты радиоканала, учёт возникающих в процессе передачи по линии РС задержек, учёт времени распространения самого акустического сигнала до точки расположения МК2 и необходимость введения соответствующей поправки при обработке полученных сигналов) требует самостоятельного рассмотрения, которое выходит за пределы данной работы.

Калибровка канала передачи и оценка её точности

Решение этой проблемы предлагается проведением процедуры калибровки, например, посредством калибратора микрофона, перед началом и после проведения измерений.

Реальность такой калибровки, возможность обеспечить достоверность измерений, была проверена в процессе контроля распространения акустических шумов в городской среде. Проверка осуществлялась с использованием описанной выше системы (рис. 1), смоделированной с использованием модулей передатчика, приёмника и микрофонов. Один из каналов использовался для передачи калибровочного сигнала от калибратора СА-114, формирующего калибровочный сигнал с уровнем звукового давления (УЗД) $94 \pm 0,3$ дБ. Приёмный модуль подключался к ноутбуку. Для контроля сигнала использовалась программа Spectra Plus [7].

Методика измерений заключалась в следующем. В условной точке «0» размещалась приёмная часть с подключением к ноутбуку. С шагом 10 м, а затем с шагом 20 м, на последнем этапе, 40 м удаления от приёмно-анализирующей части на вход приёмной части через микрофон подавался калибровочный сигнал от калибратора. Спектр принимаемого сигнала фиксировался посредством Spectra Plus.

Значения УЗД для измерений на каждой дальности представлены в таблице 1. Очевидно, что зафиксированные значения отличаются от УЗД калибратора $94,0 \pm 0,3$ дБ. Объяснить такую разницу можно тем, что усиление приёмного канала не обеспечивает установление соответствия и в дальнейшем нуждается в регулировке.

Таблица 1. Результаты калибровки

Расстояние, м	0	10	20	30	40	50	60	70	80
УЗД калибровочного сигнала в точке приёма, дБ	90,7	90,7	90,7	90,7	90,3	90,3	90,3	90,2	90,2
Расстояние, м	90	100	120	140	160	200	220	240	245
УЗД калибровочного сигнала в точке приёма, дБ	91,2	91,2	90,3	90,3	91,1	90,1	90,3	90,3	0

Общую погрешность калибровки можно оценить по методике, представленной в [8].

Проведя необходимые вычисления получим. Среднее арифметическое значение совокупности результатов измерений $\bar{x} = 90,55$ дБ. Изменение абсолютной погрешности лежит в диапазоне $-0,25 \leq \Delta x_i \leq 0,65$. Истинное значение УЗД калибровочного сигнала с надёжностью (вероятностью) $P=0,95$ лежит в доверительном интервале $90,55 \pm 0,1834$. Значение вероятности $P=0,95$ выбрано в силу рекомендаций использовать это значение при анализе аналитических данных.

В точке с расстоянием 245 м происходит «срыв» передачи сигнала.

Выводы

В целом, полученные результаты показывают, что при наличии систематической погрешности в 3,5 дБ относительно калибровочного уровня 94 дБ, обусловленной особенностями лабораторного макета, предложенный метод калибровки системы является реальным и стабильным: проведённые расчёты показывают, что с вероятностью 0,95 принимаемый калибровочный сигнал находится в диапазоне доверительного интервала $90,55 \pm 0,1834$ в каждой точке дистанции от 0 м до 240 м дальности.

Следовательно, такой подход к обеспечению достоверности измерений правомочен.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-10100.

Литература

1. Акустика: Справочник / Под ред. М. А. Сапожкова. — М.: Радио и связь, 1989. — 336 с.
2. Иофе В.К., Корольков В.Г., Сапожков М.А. Справочник по акустике, —М.: Связь, 1979. -312 с.
3. ГОСТ 23337-2014. Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий / Инженерная и санитарная акустика. Сборник нормативно-методических документов. В 2 томах. Том 1. —СПб.: Компания «Интеграл», 2008. —С.355-384.
4. Красненко Н.П. Акустическое зондирование атмосферного пограничного слоя. — Томск: Водолей, 2001. 279 с.
5. Bulkin V.V., Sharapov R.V., Sereda S.N., Ermolaeva V.A. Problems of operational control of physical and chemical environmental factors in residential areas of Russian settlements / International Scientific Conference Ecological and Biological Well-Being of Flora and Fauna EBWFF 2023 (Part 1), E3S Web of Conferences 420, 09001 (2023).
6. Булкин В.В., Кириллов И.Н. Анализ возможного распространения акустошумового загрязнения в селитебных зонах / Методы и устройства передачи и обработки информации, № 16, 2014 - с. 35-40.
7. Spectra PLUS Professional Edition / Softwar.ru. —Режим доступа: <https://softwar.ru/programmy-dlja-multimedia-i-3d/2534-spectraplus-professional-edition.html>.
8. Булкин В.В. Методы и средства научных исследований: учеб. пособие / В.В. Булкин. — Саратов: Амирит, 2023. — 92 с.