

Оценка точности калибровки системы дистанционной оценки акустических сигналов в городской среде

А.Ю. Ермакова, В.В. Булкин

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

Представлены результаты оценки точности калибровки при дистанционных измерениях при оценке распространения акустических сигналов в городской среде. Дано общее описание системы измерений с применением полноспектрального режима. С использованием разработанной двухканальной системы получено, что абсолютная погрешность калибровки лежит в диапазонах от -2,7 до 1,5 (для первого канала), и от -0,78 до 0,77 (для второго канала). Сделан вывод о достаточной степени достоверности подобных измерений с точки зрения принятой в США системы ANSI (класс «Тип 2»).

Ключевые слова: акустический сигнал, калибровка, система измерения, погрешность

Evaluation of the calibration accuracy of a remote acoustic signal assessment system in an urban environment

A.Yu. Ermakova, V.V. Bulkin

Murom Institute of Vladimir State University.

The results of evaluating the accuracy of calibration with remote measurements in assessing the propagation of acoustic signals in an urban environment are presented. A general description of the measurement system using the full-spectrum mode is given. Using the developed two-channel system, it was found that the absolute calibration error lies in the ranges from -2.7 to 1.5 (for the first channel), and from -0.78 to 0.77 (for the second channel). It is concluded that such measurements are sufficiently reliable from the point of view of the ANSI system adopted in the USA ("Type 2").

Keywords: acoustic signal, calibration, measurement system, error

Введение

Распространение акустических волн в городской среде — сложный и недетерминированный процесс. Физические принципы образования и распространения акустических сигналов в различных средах и условиях неоднократно рассматривались в научной и справочной литературе ([1,2] и др.). В условиях городской среды источниками сигналов могут быть как транспортные средства, так и строительные или иные производственные работы [3]. При этом очевидно, что такие шумы практически всегда имеют непостоянный уровень, а, кроме того, при оценке распространения сигнала в глубь жилых зон своё влияние на ослабление (затухание) шума оказывает характер трассы распространения волны.

Таким образом, контроль распространения акустических сигналов в городской среде от зон формирования шума в направлении, например, жилых зон является задачей актуальной.

Для получения оценок затухания акустических сигналов по трассе распространения обычно применяют стандартную измерительную технику (шумомеры). Однако, как показано в [4], особенности стандартных методик, определяющих измерения на средневзвешенных частотах октавных диапазонов [5], 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 жилы 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 следующие варианты: 1) используются два независимых измерителя, либо 2) используется один измеритель, имеющий минимум два датчика (микрофона) с возможностью передачи информации о результатах в основной блок прибора на относительно большие расстояния.

При первом варианте результаты измерений должны сохраняться в базе данных с последующей обработкой в условиях лаборатории. Значимым становится вопрос подтверждения сопоставимости результатов по обоим измерителям.

При втором варианте необходимо обеспечить связь микрофонов с базовым измерителем. Использование радиосвязи позволяет решить эту проблему, однако вопрос обеспечения достоверности результатов становится ещё более актуальным.

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

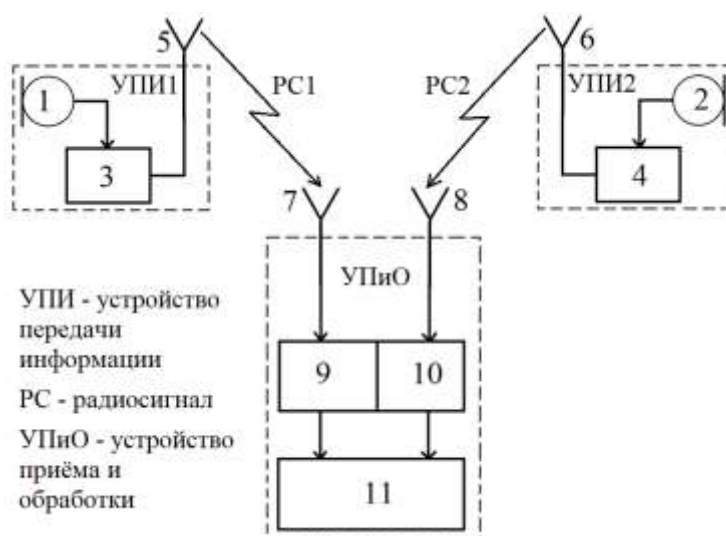


Рис. 1. Общая структура схемы измерения

Микрофоны 1 и 2 принимают акустический сигнал в точках измерения. Модули 3 и 4 включают усилитель звукового сигнала, генератор несущей частоты, модулятор и усилитель высокой частоты (ВЧ). Передающие антенны 5 и 6 передают радиосигнал (PC) в приёмные антенны 7 и 8. Приёмные устройства 9 и 10 производят усиление и детектирование принятого ВЧ сигнала, а также усиление выделенного низкочастотного сигнала. Блок обработки 11 осуществляет совместную обработку принятых сигналов.

Обоснование и возможность построения такой системы изложены в [6].

В блоке обработки в режиме реального времени осуществляется полноспектральный анализ принятых сигналов. Вычисляется усреднённый за время анализа

спектр звукового сигнала, основанный на вычислении текущего среднего на каждой итерации цикла усреднения. Результаты анализа отображаются в соответствующих окнах монитора.

Кроме того, исходя из расстояния между измерительными микрофонами второй из принятых сигналов обрабатывается с задержкой, время которой устанавливается исходя из выбранного расстояния. Затем находится разность сигналов, характеризующая величину затухания по трассе распространения. Из 3-х сформированных массивов данных по заданным среднегеометрическим частотам третьооктавных диапазонов формируется двумерный массив, сохраняемый в файле в виде электронной таблицы.

Разработанная система обработки представлена в [7].

Калибровка системы и оценка её точности

Для оценки точности измерений и передачи сигналов предложено проводить калибровку системы перед и после сеанса измерений.

Реальность такой калибровки была проверена в процессе контроля распространения акустических шумов в городской среде на этапе проектирования измерительной системы. Использовался калибратор микрофона СА-114 с уровнем калибровочного сигнала $94 \pm 0,3$ дБ. В качестве блока обработки использовался ноутбук и программа Spectra Plus [8]. Получено, что среднее арифметическое значение совокупности результатов измерений $\bar{x} = 90,55$ дБ, изменение абсолютной погрешности лежит в диапазоне $-0,25 \leq \Delta x_i \leq 0,65$. Наличие систематической погрешности в 3,5 дБ относительно калибровочного уровня 94 дБ было обусловлено особенностями состояния лабораторного макета на тот момент времени.

Более подробно вопрос рассмотрен в [9].

После завершения макетирования системы была дана оценка общей погрешности передачи и обработки информации по обоим каналам. Использовалась стандартная методика статистической обработки данных с определением среднего арифметического, абсолютной случайной погрешности каждого измерения, средней квадратической и относительной квадратической погрешности каждого отдельного измерения, и т.д. В завершении расчёта был найден доверительный интервал для уровня калибровочного сигнала.

Всего по каждому каналу было проведено по 13 измерений длительностью по 10 сек. Анализ проводился по полученным результатам осреднённого за время измерения уровня звукового давления.

На рис. 2 показан пример осреднённого спектра в режиме калибровки по каждому из каналов. Ясно видно, что на частоте 1000 Гц уровень звукового давления превышает 90 дБ.

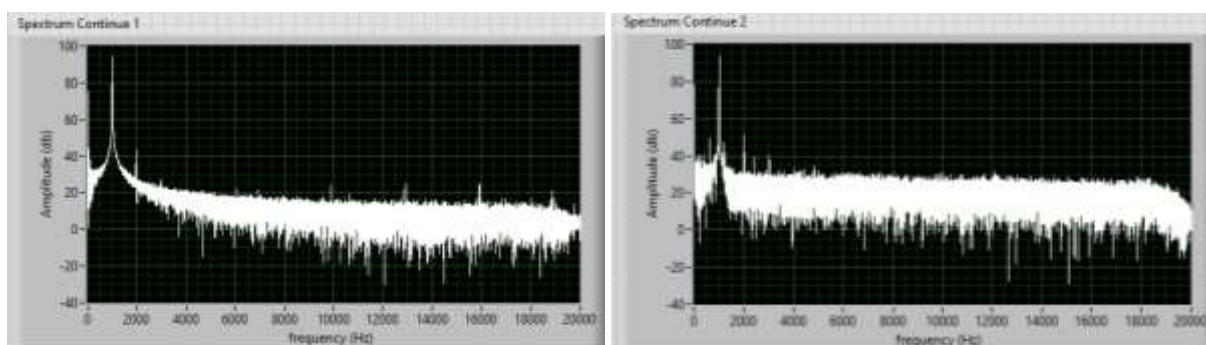


Рис. 2. Графическое отображение калибровки первого и второго каналов (усреднённые значения)

Проведённые расчёты показывают, что среднее арифметическое значение совокупности результатов измерений, по каналам, соответственно 94,2 дБ и 94,7 дБ. Изменение абсолютной погрешности лежит в диапазонах от -2,7 до 1,5 (для первого канала), и от -0,78 до 0,77 (для второго канала). Истинное значение уровня звукового давления калибровочного сигнала с надёжностью (вероятностью) $P=0,95$ лежит в доверительных интервалах $94,2 \pm 0,897$ и $94,7 \pm 0,364$ дБ. Значение вероятности $P=0,95$ выбрано в силу известных рекомендаций использовать это значение при анализе аналитических данных.

Выводы

Анализ полученных результатов показывает, что применение разработанной измерительной системы для проведения прецизионных измерений мониторингового характера не представляется возможным, что показывают вариации абсолютной погрешности калибровочного значения. При этом необходимо учитывать, что используемые в системе микрофоны выполнены с использованием капсулей широкого назначения типа wм-61, что априорно исключает возможность проведения высокоточных измерений акустических шумов.

Вместе с тем, максимальный диапазон погрешностей (от -2,7 до 1,5 дБ) в целом соответствует классу «Тип 2» в принятой в США системы ANSI [10]. Для приборов этого типа требуемая точность измерений порядка ± 2 дБ. Применяются такие шумомеры для измерений общего назначения.

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. -336с.
2. Иофе В.К., Корольков В.Г., Сапожков М.А. Справочник по акустике, —М.: Связь, 1979. -312 с.
3. 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).
4. 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.
5. 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.
6. Булкин В.В. Моделирование системы оценки характеристик независимых акустических сигналов / Проектирование и технология электронных средств, 2023, №4. —С.39-43.
7. Программа для ЭВМ, RU 2024686394. Двухканальная программа анализа некоррелированных по времени акустических сигналов / Булкин В.В. Дата регистрации: 31.10.2024. Оpubл.: 7.11.2024. Бюл. № 11.
8. Spectra PLUS Professional Edition / Softwar.ru. —Режим доступа: <https://softwar.ru/programmy-dlja-multimedia-i-3d/2534-spectraplus-professional-edition.html>.

9. Козлов С.С., Молчанов Я.Д., Ермакова А.Ю., Булкин В.В. Возможности калибровки системы дистанционной оценки акустических сигналов в городской среде / Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн. Всероссийские открытые Армандовские чтения. Материалы Всероссийской открытой научной конференции. Муром, 2024. -С. 518-521.
10. ANSI/ASA/IEC 61672-2-2019, International standard. A Standard for Sound Level Meters Explained, IEC. -Access mode: <https://www.cirrusresearch.co.uk/blog/2012/07/iec-61672-a-standard-for-sound-level-meters-in-three-parts/>