

Статистический анализ акустического шума в урбанизированной среде

И.Н. Кириллов

*Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета, Муромский завод радиоизмерительных приборов,
602264, Муром, ул. Орловская, 23, E-mail: dedvanya@mail.ru*

Рассмотрен алгоритм статистического анализа, обеспечивающий представление результатов обработки измерительных данных в виде времени, выраженном в процентах, в течение которого был превышен каждый из уровней звука на данной частоте в разные моменты времени.

An algorithm for statistical analysis, which provides representation of the results of processing the measured data in terms of time, expressed in percent, for each of which exceeded levels of sound at a given frequency at various time points

Акустический шум к настоящему времени уже стал одной из основных проблем современного урбанизированного пространства, занимая третье по важности место среди всех экологических загрязнителей большого города [1]. И всё более актуальными становятся задачи защиты человека в рамках промышленных или селитебных зон [1,2]. В силу этого нарастает потребность создания систем мониторинга акустошумового загрязнения на таких территориях, что позволит осуществить построение шумовой карты города, прогнозирование распространения шума вглубь селитебных зон и принятие эффективных управляющих решений по защите населения от шума [3].

Вместе с тем, поскольку акустический шум на производственной или городской территории не относится к стационарным процессам, возникает проблема надёжности формируемой шумовой карты, соответствия получаемых данных не мгновенным, а достаточно постоянным проявлениям акустошумовых загрязнений. Очевидно, что осуществление мониторинга невозможно без статистической обработки результатов с целью выработки прогнозных оценок по распространению этого шума вглубь селитебных зон. Решение этой задачи может быть осуществлено использованием возможностей систем управления и обработки информации мониторинговой системы [4,5]. Ещё одной из проблем в данном направлении становится выбор и обоснование правильности построения алгоритма обработки данных.

В докладе рассмотрен алгоритм статистического анализа, обеспечивающий представление результатов обработки данных измерений в виде времени, выраженном в процентах, в течение которого был превышен каждый из уровней звука на данной частоте в разные моменты времени.

Возможности статистической обработки результатов измерений

В [6] показан метод определения точности и надёжности шумовой карты, основанный на сочетании дисперсионного анализа и математической статистики. Отдельные результаты измерения городского шума $L=x_{ij}$ представлены в виде матрицы значений $M(x_{ij})$, в строках которой по горизонтали находятся величины x_i в i разных точках пространства общим числом n , а по вертикали, в столбцах, величины x_j в различные моменты времени j общим числом m .

Если случайные отклонения измерений x в пространстве не зависят от случайных отклонений этой величины, то матрица значений $M(x_{ij})$ трансформируется в матрицу значений $M(x_i+x_j)$, где величина x_i зависит только от измерений в пространстве, а величина x_j зависит только от измерений времени. Используя этот метод можно

выразить среднюю величину, дисперсию отклонений в пространстве, дисперсию отклонений во времени, дисперсию отклонений в пространстве и во времени.

Недостатком метода применительно к средним и большим городам является то, что, например, для величины надёжности $P=0.95$ и точности на уровне $\Delta L=1$ дБ для одной улицы протяжённостью 2 км требуется провести измерений $m=24$ в $n=10$ точках пространства, т.е. в сутки требуется $n \cdot m=240$ измерений уровней звука. При проведении измерений десять раз в месяц количество измерений уровней звука в год только на одной улице составит $240 \cdot 10 \cdot 12=28800$, что для средних или малых городов является задачей сложной в силу высокой себестоимости работ.

Временной анализ статистического распределения

Рассмотрим так называемый анализатор статистического распределения. В этом случае, возможно регистрировать относительную долю времени, в течение которого измеряемый уровень шума находился в пределах каждой из ступеней шкалы, расположенных, например, через каждые 1 дБ. Результаты таких измерений показывают, в течение какой доли полного времени был превышен каждый из звуковых уровней шкалы звукового давления.

В алгоритме вычисления статистического распределения акустического шума матрицы

$$M(L_{ij}) = \begin{pmatrix} L_{11} & L_{12} & \dots & L_{1j} \\ L_{21} & L_{22} & \dots & L_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ L_{i1} & L_{i2} & \dots & L_{ij} \end{pmatrix}$$

используем промежуточную матрицу статистического распределения, в строках которой по горизонтали находятся распределенные уровни звукового давления l общим числом k с равными интервалами l' между значениями

$$M(P_{ij}) = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1j} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{i1} & P_{i2} & \dots & P_{ij} \end{pmatrix},$$

где P_{ij} – показатель статистического распределения шума, выраженный в процентах.

Распределенные уровни звукового давления l выбираются согласно требуемой шкале измерений с шагом l' , в диапазон которой входят минимальные и максимальные значения L_{ij} матрицы $M(L_{ij})$.

Для составления промежуточной матрицы необходимо вычислить значения переменных P_{ij} для конкретного столбца j по алгоритму:

- если тождества $\begin{cases} l \leq L_{ij} \\ P'_{ij} \leq n \end{cases}$ верны, то $P'_{ij} = P_{ij} + 1$;
- если $l \leq L_{ij}$ неверно, то $l = l + \frac{l_{max}}{k}$, $i = i + \frac{i_{max}}{n}$;
- если $P'_{ij} \leq n$ неверно, а $l = L_{ij}$ верно, то $P_{ij} = \frac{P'_{ij}}{n} \cdot 100\%$,

где P'_{ij} – показывает количество элементов в строке i матрицы $M(L_{ij})$, которые превышают текущее значение шкалы l ;

l_{max} и i_{max} – максимальные значения матрицы $M(P_{ij})$ и $M(L_{ij})$ соответственно, причём должно выполняться выражение $l_{max} \leq i_{max}$.

Затем используя промежуточную матрицу $M(P_{ij})$, вычисляют матрицу полного статистического распределения $M(l_{Pj})$, в строках которой по горизонтали находятся величины, показывающие время $P=1...100$, выраженное в процентах, в течение которого был превышен каждый из уровней L_{ij} в столбце j матрицы $M(L_{ij})$ общим числом $\tau=100$, а по вертикали, в столбцах, амплитудно-частотные величины на разных частотах $j=6...10000$ (Гц) общим числом $m=1000$:

$$M(P_{ij}) = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1j} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{i1} & P_{i2} & \dots & P_{ij} \end{pmatrix} \geq M(L_{Pj}) = \begin{pmatrix} l_{11} & l_{12} & \dots & l_{1j} \\ l_{21} & l_{22} & \dots & l_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ l_{P1} & l_{P2} & \dots & l_{Pj} \end{pmatrix}.$$

Удобнее всего использовать распределение со значениями $P=1; 10; 50; 90; 99$ (%), где $P=1$ даёт представление о максимальном значении уровня шума; $P=10$ – это характерный высокий уровень; $P=90$ – показывает шумовой фон, то есть уровень, до которого снижается шум при наступлении временного затишья. Разность между значениями $P=10$ и $P=90$ указывает, в каких пределах в каждом данном месте флуктуирует уровень шума. Причём, показатель шума в 10% главным образом широко применяется при измерении и прогнозировании транспортного шума и во многих странах служит основной характеристикой, показывающей уровень акустического загрязнения территории. Обычно транспортный шум флуктуирует вполне определённым образом, поэтому уровень $P=10$ служит достаточно удовлетворительным показателем шума, хотя только частично представляет статистическую картину.

Таким образом, получим статистическое распределение уровней шума при сильно флуктуирующем шумовом климате в виде матрицы $M(l_{Pj})$, где $P=1; 10; 50; 90; 99$ (%):

$$M(l_{Pj}) = \begin{pmatrix} l_{11} & l_{12} & \dots & l_{1j} \\ l_{101} & l_{102} & \dots & l_{10j} \\ l_{501} & l_{502} & \dots & l_{50j} \\ l_{901} & l_{902} & \dots & l_{90j} \\ l_{991} & l_{992} & \dots & l_{99j} \end{pmatrix}.$$

На рис. 1. представлен график статистического распределения одного из результатов измерений уличного шума $M(l_{Pj})$, где $j=6...10000$ (Гц), общим числом $m=1000$.

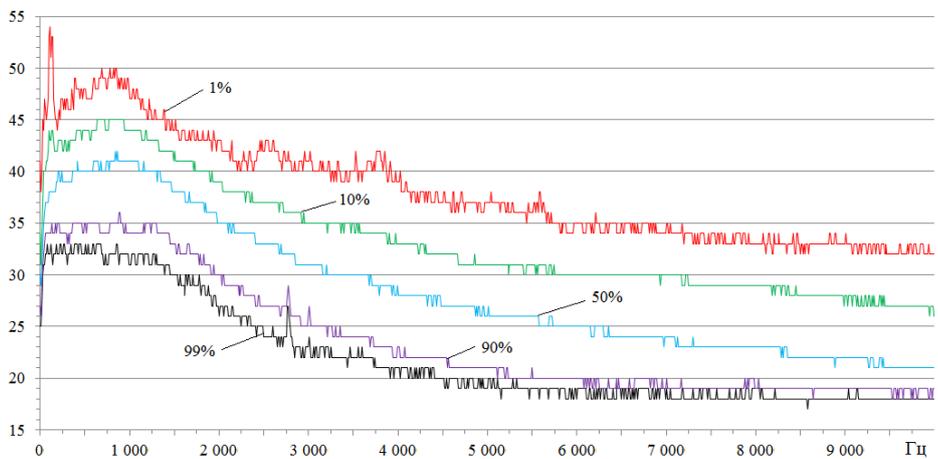


Рис. 1. Статистическое распределение акустического шума $M(l_{Pj})$

Из рисунка видно, что разность между значениями $P=10$ и $P=90$, которая указывает, в каких пределах в каждом данном месте j флуктуирует уровень шума, составляет от 35 до 45 дБ. Это говорит о том, что в данном месте больше преобладают непостоянные шумы продолжительностью от 2 до 5 сек.

Для оценки влияния акустического шума на окружающую территорию необходимо рассматривать дальность распространения конкретного акустического сигнала на конкретной территории, характеризующую зону поражения. Поэтому для статистически распределённого акустического шума $M(l_{Pj})$ необходимо определить зону распространения. Для этого с учётом корректирующих (метеорологических) данных должен быть определён коэффициент затухания звука чистого тона в атмосфере $M(\alpha_j)$.

В свою очередь, зону распространения акустического шума $M(l_{Pj})$ можно охарактеризовать расстоянием S от точки его источника до точки, где уровень акустического сигнала не превышает некий нулевой порог Q , который, например, может равняться порогу слышимости для среднестатистического уха человека [7] или значениям санитарных норм и правил.

Данный порог можно представить в виде матрицы $M(I_j)$ и далее вычислить зону поражения S_{Pj} акустического шума в свободном пространстве. Отсюда матрицы $M(\alpha_j)$ и $M(Q_j)$ имеют вид $M(\alpha_j) = \{\alpha_1 \quad \alpha_2 \quad \dots \quad \alpha_j\}$ и $M(Q_j) = \{Q_1 \quad Q_2 \quad \dots \quad Q_j\}$.

Свободное пространство S в виде расстояния от точки источника до точки, где начинает выполняться тождество $l < Q$, можно разделить на равные отрезки S'_{Pj} . Таким образом, для определения расстояния S_{Pj} нужно использовать алгоритм:

- если тождество $l_{ij} - \alpha_j \cdot S_{Pj} > Q_j$ верно, то $S_{Pj} = S_{Pj} + S'_{Pj}$;
- если тождество $l_{ij} - \alpha_j \cdot S_{Pj} > Q_j$ неверно, то это говорит о том, что на некотором расстоянии S_{Pj} от источника уровень звукового давления l не превышает нулевой порог Q .

В итоге получим матрицу зоны распространения $M(S_{Pj})$ акустического шума $M(l_{Pj})$ в свободном пространстве:

$$M(S_{Pj}) = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1j} \\ S_{101} & S_{102} & \dots & S_{10j} \\ S_{501} & S_{502} & \dots & S_{50j} \\ S_{901} & S_{902} & \dots & S_{90j} \\ S_{991} & S_{992} & \dots & S_{99j} \end{pmatrix}.$$

На рис. 2. представлен график зоны распространения $M(S_{Pj})$ распределённого акустического шума $M(l_{Pj})$ одного из результатов измерений.

Из рис. 2 видно, что статистическое распределение шума $M(l_{Pj})$ при $P=99$ и $P=90$ из-за характерной особенности восприятия органами слуха человека звуков разных частот не представляют угрозы для населения и имеются зона поражения S , близкая к нулевой. Зона распространения шума с распределением $P=50$, $P=10$ и $P=1$ значительно выше. Например, дальность распространения максимального шума ($P=1$) составляет свыше двух километров, а шума характерно высокого уровня ($P=10$) - больше километра.

Данный график показывает некое расстояние от источника акустического шума до точки, где его уровень не оказывает раздражающее воздействие на человека. Другими словами, на данном расстоянии конкретный исследуемый акустический шум перестаёт распознаваться как некий слабый звуковой сигнал в условиях полной тишины.

Заключение

Метод даёт возможность одновременно наблюдать амплитудно-частотные характеристики не только средних значений шума, но и фоновых (при наступлении временного затишья). Это позволяет оценивать, в каких пределах в каждой зоне контроля флуктуирует уровень шума. Сохранение данных амплитудно-частотной характеристики фоновых, средних и максимальных показателей может позволить определить частоту их пиковых значений, а значит и выявить источник, в случае если источник шума точечный.



Рис. 2. Зависимость зоны распространения распределённого акустического шума $M(l_{Pj})$ от частоты

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 техно-сферы / Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2012, №1(11). -С.31-39.
2. Булкин В.В., Калиниченко М.В., Штыков Е.А., Фильков Д.Е. К вопросу об использовании шумопоглощающих средств на техногенных пространствах / Вестник Тамбовского госуд. ун-та, т.19, вып.5, 2014. –С.1388-1392.
3. 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.
4. Булкин В.В., Кириллов И.Н. Пассивно-активная система мониторинга акустического загрязнения локальной урбанизированной территории / Радиотехнические и телекоммуникационные системы, №4, 2014. –С.48-55.
5. Bulkin V.V., Kirillov I.N. Environmentally-atmospherical monitoring of industrial machine builder state / Applied Mechanics and Materials, Vol. 770 (2015). -pp. 686-689.
6. Боголепов И.И., Лаптева Н.А. Шумовая карта городов и агломераций / Инженерно-строительный журнал, № 6, 2010. –С.5-11.
7. ГОСТ Р ИСО 226-2009. Акустика. Стандартные кривые равной громкости / ISO 226:2003. Acoustics — Normal equal-loudness-level contours (IDT). -М.: Стандартинформ, 2010. -16 с.