

УДК 504.3.054:621.3.084

Оценка влияния метеорологических параметров на дальность распространения акустошумового загрязнения в селитебных зонах *

Булкин В.В., Кириллов И.Н.

Шумовое загрязнение селитебных зон становится всё более серьёзной проблемой. Анализ возможного распространения шума вглубь жилой территории необходимо проводить не только на основании спектральных характеристик шума и имеющих пиковых значений шумовых сигналов, но и с учётом средних или локальных метеорологических условий, характерных для данной территории. В статье проводится анализ возможного изменения коэффициента затухания сигнала для различных частот при изменении основных метеопараметров: температуры окружающей среды, влажности воздуха и атмосферного давления. Результаты моделирования представлены в виде графиков. Показано, что наибольшее влияние на затухание сигнала оказывает изменение температуры: на краях температурного диапазона 30... –20°C величина затухания может увеличиваться от 29,4 дБ/км до 170,5 дБ/км.

Ключевые слова: акустический шум, затухание акустического сигнала, частота, температура, влажность, давление.

Estimating the meteorological parameters impact on the propagation distance of acoustic noise pollution in residential areas

Bulkin V.V., Kirillov I.N.

Acoustic noise pollution of residential areas is becoming an increasingly serious problem. The analysis of possible noise propagation deep into residential areas is to be carried out both on the basis of noise spectral characteristics and the existing peak noise signals as well as the average or local meteorological conditions prevailing in the area. The paper analyzes possible signal attenuation ratio variation for different frequencies when changing the basic meteorological parameters such as ambient temperature, humidity and atmospheric pressure. The simulation results are presented as graphs. Temperature changes effect signal attenuation at most: within 30 to –20°C range, signal attenuation value can be increased from 29.4 dB/km up to 170.5 dB/km.

Keywords: acoustic noise, acoustic signal attenuation, frequency, temperature, humidity, pressure.

Введение

Контроль акустического шума на селитебных территориях подразумевает организацию постоянного мониторинга, а, следовательно, и разработку методов и средств наблюдения, 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.

Цель работы – провести анализ возможного изменения коэффициента затухания сигнала для различных частот при изменении основных метеопараметров селитебной территории: температуры окружающей среды, влажности воздуха и атмосферного давления.

Основные вопросы анализа

Для правильной оценки действительного уровня шума и его возможного влияния на окружающую среду очень важно с высокой до-

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

лей вероятности определить уровень затухания звука на местности, поскольку это обеспечит возможность выработки прогноза распространения его вглубь селитебных территорий.

Затухание звука чистого тона в свободном пространстве (атмосфере) характеризуется коэффициентом затухания, зависимым не только от факторов окружающей среды, но и от физических характеристик шума.

Коэффициент затухания звука в атмосфере можно представить следующим образом:

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

где $\Phi_n(\vec{I}_n, \vec{T}_n, \vec{H}_n, \vec{P}_n, \vec{V}_n)$ – фактор коэффициента затухания звука в атмосфере; \vec{I}_n – вектор параметров звука $\vec{I}_n = \{F, A\}$, F – частота, A – амплитуда (мощность) сигнала; \vec{T}_n – вектор параметра температуры воздуха; \vec{H}_n – вектор параметра влажности воздуха; \vec{P}_n – вектор параметра атмосферного давления; \vec{V}_n – вектор параметров ветра $\vec{V}_n = \{N, c\}$, N – направление ветра, c – скорость ветра; S – параметр среды (особенности местности, здания, растительные насаждения).

Рассмотрим влияние некоторых метеорологических параметров на величину коэффициента затухания.

Оценка возможной ошибки в прогнозе распространения шума

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} [1]

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc} \cdot (2)$$

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

$$A_{atm} = \frac{\alpha d}{1000}. \quad (3)$$

Коэффициент затухания в атмосфере α определяется по формуле

$$\alpha = 8,686 \cdot f^2 \left(\left[1,84 \cdot 10^{-11} \left(\frac{P_a}{P_r} \right)^{-1} \left(\frac{T}{T_0} \right)^{\frac{1}{2}} \right] + \left(\frac{T}{T_0} \right)^{\frac{5}{2}} \cdot \left\{ 0,01275 \left[\exp \left(\frac{-2239,1}{T} \right) \right] \left[f_{rO} + \left(\frac{f^2}{f_{rO}} \right) \right]^{-1} + 0,1068 \left[\exp \left(\frac{-3352,0}{T} \right) \right] \left[f_{rN} + \left(\frac{f^2}{f_{rN}} \right) \right]^{-1} \right\} \right), \quad (4)$$

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.

Для оценки возможной погрешности измерения проведём расчёт применительно к некоторым результатам анализа акустического шума на улицах города Муром, полученным с использованием пассивно-активной акустолокационной эколого-метеорологической системы. Общее описание системы представлено в [2], результаты анализа акустический обстановки – в [3-6].

Расчёт проведём применительно к выявленному в процессе одного из сеансов изменений повторяющемуся пику уличного шума на частоте 2340 Гц. Уровень пика превышал среднее значение в рамках долеоктавного диапазона 2000-2500 Гц (согласно ряда R10 по ГОСТ Р 53188.1-2008 [5]) примерно на 20 дБ. Данное значение находится в полосе частот максимальной чувствительности человеческого уха, в силу чего правильная оценка распространения такого сигнала может иметь большое значение.

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.

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

Результаты математического моделирования

При моделировании возможного влияния некоторых метеорологических параметров на распространение звука в среде, рассматривались три основных параметра, не зависящие от особенностей ландшафта местности. Расчёт проводился без учёта влияния стационарных параметров среды (экраны, поглотители и пр.), а так же без учёта влияния вектора параметров ветра \vec{V}_n . Результаты расчётов представляются в графическом виде.

Таким образом, для построения того или иного графика распределения, характеризующего влияние на состояние фактора Φ_n , используется соответствующий вектор параметра. Например, для построения графика распределения оценки влияния изменения температуры окружающей среды на распространение звука, функция примет вид $\alpha =$

$\Phi_n(\vec{I}_n, \vec{T}_n)$, остальные параметры представляют собой постоянную величину, которая соответствует стандартному состоянию среды, то есть $H_n = 60\%$, $P_n = 760$ мм. рт. ст., $V_n = 0$, $S=0$. Для расчёта иных графиков распределения параметр T_n принимается равным 20°C .

В результате проведённого моделирования можно сделать вывод о том, что вектор параметра \vec{T}_n в наибольшей степени влияет на распространение звука в атмосфере. Например при изменении параметра \vec{T}_n в пределах от -20°C до $+30^\circ\text{C}$, что является естественной нормой сезонного колебания температуры окружающей среды для нашего климата, изменение фактора Φ_n лежит в пределах от 29,4 дБ/км до 170,5 дБ/км на частоте 10 кГц.

Варианты изменения коэффициента затухания при изменении температуры, влажности и давления представлены на рис. 1-3.

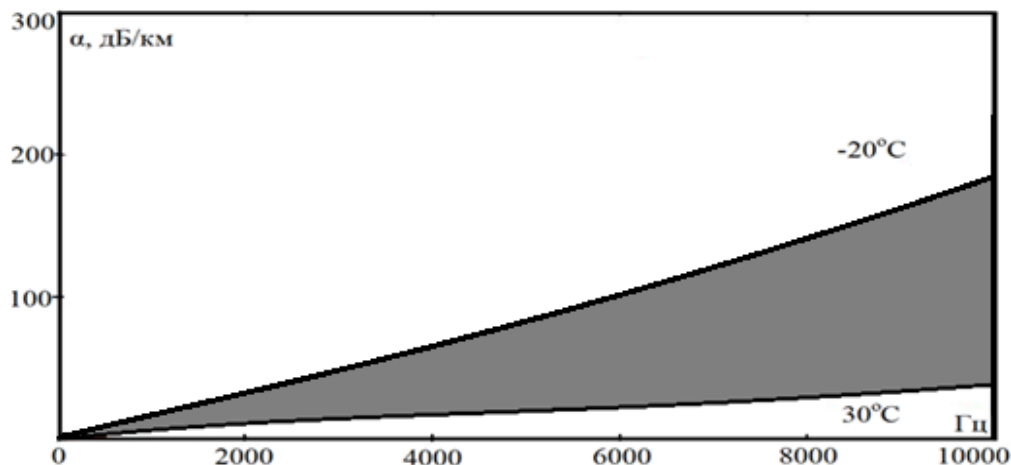


Рис. 1. Зависимость коэффициента затухания от величины температуры.

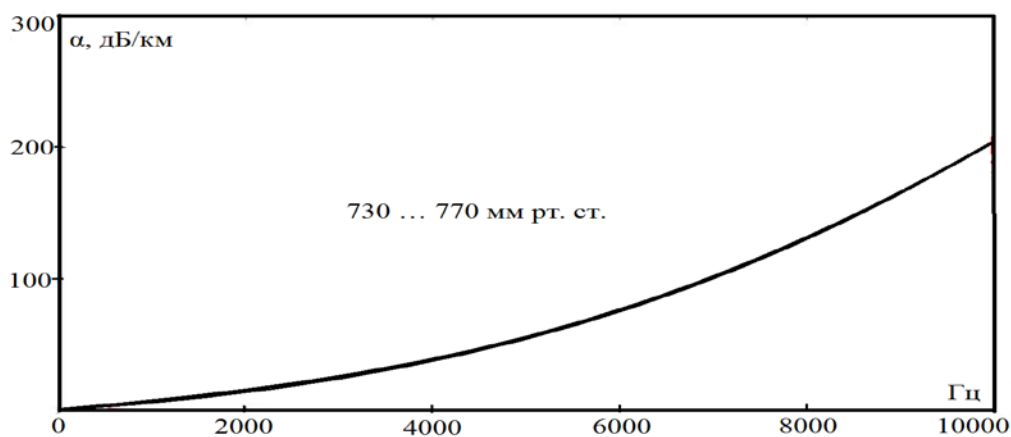


Рис. 2. Зависимость коэффициента затухания от величины атмосферного давления.

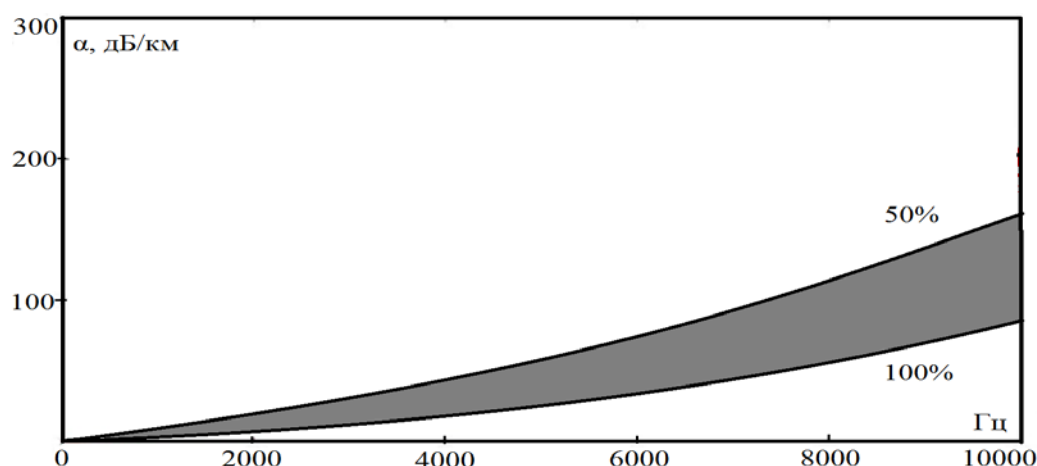


Рис. 3. Зависимость коэффициента затухания от величины влажности воздуха.

Выводы

Проведённые расчёты и моделирование показывают, что уровень влияния основных метеорологических параметров на возможность распространения акустического шума вглубь селитебных территорий. Наибольшую зависимость изменение коэффициента затухания имеет от величины температуры окружающей среды. Так, изменение температуры от $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$, что является естественной нормой сезонного колебания температуры окружающей среды для средней полосы, приводит к увеличению коэффициента затухания от $29,4\text{ дБ/км}$ до $170,5\text{ дБ/км}$ на частоте 10 кГц . На более низких частотах влияние проявляется в меньшей степени.

Достаточно значимым является влияние изменение влажности воздуха. Влияние изменения атмосферного давления выражено гораздо слабее. Кроме того, при анализе характера распространения акустического шума необходимо учитывать ещё и спектральные характеристики сигналов.

Литература

1. ГОСТ 31295.1-2005. Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 1. Расчёт поглощения звука атмосферой. – М.: Стандартинформ, 2009. – 35 с.
2. Булкин В.В., Беляев В.Е., Кириллов И.Н. Модель пассивно-активной акустолокационной эколого-метеорологической системы // Проектирова-

ние и технология электронных средств, 2011, №1. – С.16-19.

3. 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.

4. Кириллов И.Н., Калинин М.В., Панова М.С. О точности анализа акустических шумов в урбанизированном пространстве // II Всероссийские Армандовские чтения [Электронный ресурс]: Радиофизические методы в дистанционном зондировании сред / Материалы V Всероссийской научной конференции (Муром, 26-28 июня 2012 г.) – Муром: ИПЦ МИ ВлГУ, 2012. – С.418-421.

5. Кириллов И.Н., Булкин В.В. Некоторые результаты применения пассивного канала пассивно-активной системы мониторинга урбанизированного пространства // III Всероссийские Армандовские чтения [Электронный ресурс]: Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике / Материалы IV Всероссийской научной конференции (Муром, 25-27 июня 2013 г.) – Муром: ИПЦ МИ ВлГУ, 2013. – С.249-253.

6. Кириллов И.Н., Булкин В.В. Математическая модель влияния факторов окружающей среды на распространение шума в атмосфере // Наука и образование в развитии промышленной, социальной и экономической сфер регионов России. VI Всероссийские научные Зворыкинские чтения: Сб. тез. докл., Муром, 7 февраля 2014 г. – Муром: ИПЦ МИ ВлГУ, 2014. – С.329-330.

7. ГОСТ Р 53188.1-2008. Шумомеры. Часть 1. Технические требования. – М.: Стандартинформ, 2009. – 32 с.

References

1. GOST 31295.1-2005. Shum. Zатуhanie zvuka pri rasprostraneni na mestnosti. Chast' 1. Raschjot pogloshhenija zvuka atmosferoj [Noise. Attenuation of sound propagation in the locality. Part 1. Calculation of sound absorption atmosphere]. – Moscow: Standartinform 2009. – 35 p.

2. Bulkin V.V., Belyaev V.E., Kirillov I.N. Model' passivno-aktivnoj akustolokaci-onnoj jekologo-meteorologicheskoy sistemy [Model of passive-active acoustic radar ecological and meteorological systems] // Proektirovanie i tehnologija jelektronnyh sredstv [Design and technology of electronic media], 2011, № 1. – P.16-19.

3. Bulkin V.V., Kirillov I.N., Belyaev V.E. Passivnyj kanal passivno-aktivnoj sistemy monitoringa urbanizirovannogo prostranstva [Passive channel passive-active system monitoring urbanized space] // Radio-tehnicheskie i telekommunikacionnye sistemy [Radio Engineering and Telecommunication Systems], № 4, 2012. – P.47-51.

4. Kirillov I.N., Kalinichenko M.V., Panova M.S. O tochnosti analiza akusticheskikh шумов v urbanizirovannom prostranstve [On the accuracy of the analysis of acoustic noise in an urban space] // II Vserossijskie Armandovskie chtenija: Radiofizicheskie metody v distancionnom zondirovanii sred / Materialy V Vserossijskoj nauchnoj konferencii [II All-Russian Armand reading: Radiophysical methods in remote sensing environments / Proceedings of the V Scientific

Conference] (Murom, 26-28 June, 2012). – Murom: MI VISU, 2012. – P. 418 -421.

5. Kirillov I.N., Bulkin V.V. Nekotorye rezultaty primeneniya passivnogo kanala passivno-aktivnoj sistemy monitoringa urbanizirovannogo prostranstva [Some results of the passive channel passive-active system monitoring urbanized space] // III Vserossijskie Armandovskie chtenija: Sverhshirokopolosnye signaly v radiolokacii, svjazi i akustike / Materialy IV Vserossijskoj nauchnoj konferencii [III All-Russian Armand reading: Superwideband signals in radar, communications and acoustics / Proceedings of the IV All-Russian Scientific Conference] (Murom, 25-27 June 2013). – Murom: MI VISU, 2013. –P.249-253.

6. Kirillov I.N., Bulkin V.V. Matematicheskaja model' vlijanija faktorov okruzhajushhej sredy na rasprostranenie shuma v atmosfere [Mathematical model of environmental factors on the distribution of noise in the atmosphere] // Nauka i obrazovanie v razvitii promysh-lennoj, social'noj i jekonomicheskoy sfer regionov Rossii.VI Vserossijskie nauchnye Zvorykinskie chtenija [Science and education in the development of industrial, social and economic spheres regions Russia. Proceedings of the VI All-Russian scientific Zvorykin reading]. (Murom, February 7, 2014). – Murom: MI VISU, 2014. – P.329-330.

7. GOST R 53188.1-2008. Shumomery. Chast' 1. Tehnicheskie trebovanija [Sound Level Meters. Part 1. Technical requirements]. – Moscow: Standartinform, 2009. – 32 p.

Статья поступила в редакцию 1 марта 2014 г.

Булкин Владислав Венедиктович – доктор технических наук, профессор кафедры «Техносферная безопасность» Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром, Россия. E-mail: vvbulkin@mail.ru

Кириллов Иван Николаевич – аспирант кафедры «Техносферная безопасность» Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром, Россия. E-mail: lwb@mivlgu.ru

Bulkin Vladislav Venediktovich – Ph.D., Murom Institute of Vladimir State University, Murom, Russia. E-mail: vvbulkin@mail.ru

Kirillov Ivan Nikolaevich – Post-graduate student, Murom Institute of Vladimir State University, Murom, Russia. E-mail: lwb@mivlgu.ru