

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ ТЕХНОГЕННЫХ ШУМОВ НА НИЗКИХ ЧАСТОТАХ

Оксана Андреевна Копылова

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, аспирант, тел. (383)330-87-43, e-mail: okkplv@yandex.ru

Марат Саматович Хайретдинов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, доктор технических наук, главный научный сотрудник, тел. (383)330-87-43, e-mail: marat@opg.sccc.ru

В статье рассматривается проблема оценивания и предупреждения экологически опасного воздействия техногенных шумов, порождаемых движущимся тяжелым гусеничным и колесным транспортом, железнодорожным транспортом. Рассматривается воздействие низкочастотного управляемого сейсмического вибратора ЦВ-40 [1], используемого для сейсмологических исследований. В первую очередь оценивается воздействие на человека и окружающую среду колебаний, находящихся в области низких и инфранизких частот. Приведены результаты полевых исследований по получению записей техногенных шумов, их численного анализа и оценки уровней геоэкологических рисков, связанных с вибрациями в земле и акустическими колебаниями в атмосфере. При помощи спектрального и спектрально-временного анализа записей выделены основные экологически опасные частотные области техногенных шумов, являющиеся наиболее характерными для данных источников. Определена динамика изменения уровня виброскорости по расстоянию для тяжелого колесного и гусеничного видов транспорта.

Ключевые слова: производственный шум, транспортный шум, сейсмический вибратор, геоэкологические риски, сравнительный анализ, информативные признаки

GEOECOLOGICAL RISKS OF TECHNOGENIC NOISES AT LOW FREQUENCIES

Oksana A. Kopylova

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, 6, Prospect Akademik Lavrentiev St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D. Student, phone: (383)330-87-43, e-mail: okkplv@yandex.ru

Marat S. Khairtdinov

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, 6, Prospect Akademik Lavrentiev St., Novosibirsk, 630090, Russia, D. Sc., Chief Researcher, phone: (383)330-87-43, e-mail: marat@opg.sccc.ru

The article considers the estimation and prevention problem of ecologically dangerous influence of technogenic noises generated by moving transport, such as heavy tracked and wheeled transport, railway transport. The influence on the man and the environment of a low-frequency controlled CV-40 seismic vibrator [1] used for seismological research separately is considered. The influence of vibrations located in the area of low and infra-low frequencies is estimated. The field records of technogenic noises are analyzed. Numerical analysis and estimation of levels of geoecological risks associated with seismic vibration in the ground and acoustic oscillations in the atmosphere are

presented. Spectral and spectral-time analysis of technogenic noises records are performed. The main ecologically dangerous frequency areas, which are the most characteristic for these sources, are separated. The dynamics of changes of the vibration velocity level over distances for heavy wheeled and tracked types of transport has been determined.

Keywords: technogenic noise, transport noise, seismic vibrator, geoeological risks, comparative analysis, informative features

Введение

Проблема оценивания и предупреждения разрушительного воздействия техногенных шумов, порождаемых различными видами транспорта и производств, в настоящее время становится особенно острой. Уровень шумового загрязнения является одним из важнейших показателей, характеризующих комфортность проживания людей в городской местности [2]. Всемирная организация здравоохранения провела исследование и дала оценки уровням шума, которым подвержены жители европейских стран. Согласно этим данным в дневное время суток около 40% жителей Европы испытывают воздействие шума на уровне, превышающем 55 дБ, а 20% находятся под воздействием уровня шума, превышающего 65 дБ [3]. Этому способствуют ведение активных работ по застройке, рост числа автомобилей, а также проведение различных полигонных и карьерных взрывов [2] и др. К этому добавляются шумы природного характера (например, шумы морских прибоев, ураганов, резкие колебания атмосферного давления и т.д.).

Проблема разрушительного воздействия на окружающую среду резко возрастает в области низких и инфранизких частот, наиболее экологических опасных для человека, а также наиболее разрушительных для крупных сооружений (мостов, зданий, производственных помещений и т.д.). Последнее определяется тем, что в области инфранизких частот находятся собственные частоты колебаний сооружений. С учетом сказанного определяется актуальность проводимых исследований.

Постановка задачи

Акустическое воздействие техногенных шумов на окружающую инфраструктуру и человека связано с понятием геоэкологического риска, определяемого уравнением:

$$L_{Aeg} = 10 \lg \frac{1}{T} \sum_{i=0}^T \left(\frac{p_{Ai}(t)}{p_0} \right)^2, \quad (1)$$

где L_{Aeg} – эквивалентный скорректированный уровень шума за заданный период T , $p_A(t)$ – текущее значение среднеквадратичного звукового давления, Па; p_0 – опорное звуковое давление в воздухе, принимается равным $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$, Па; T – время действия шума, час [4].

Наряду с негативными воздействиями процессов распространения акустических транспортных шумов в атмосфере одновременно необходимо учитывать влияние вибраций, возникающих как результат распространения сейсмических колебаний в земле. Из таких вибраций выделяются: транспортная, которая возникает вследствие движения по дорогам; технологическая – возникает при работе машин и оборудования в процессе выполнения технологических операции на производственных площадках. Экологический показатель риска, отнесенный к вибрациям, определяется следующим образом:

$$L_v = 20 \lg \left(\frac{v}{v_0} \right), \quad (2)$$

где L_v – уровень виброскорости; v – среднее квадратичное значение виброскорости, м/с; v_0 – опорное значение виброскорости, принимается равным $5 \cdot 10^{-8}$ м/с [5].

Поскольку шумовое воздействие обладает накопительным эффектом, для каждого вида транспорта может быть рассчитан суммарный уровень шума и виброскорости, учитывающий длительность воздействия.

Суммарный уровень шума может быть определен уравнением:

$$L_{Aegsum} = 10 \lg \sum_{i=0}^T \left(\frac{p_{Ai}(t)}{p_0} \right)^2, \quad (3)$$

где $p_A(t)$ – текущее значение среднеквадратичного звукового давления, Па; p_0 – опорное звуковое давление в воздухе, принимается равным $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$, Па; T – время действия шума, час

Суммарный уровень виброскорости может быть определен уравнением:

$$L_{vsum} = 10 \lg \sum_0^T \left(\frac{v(t)}{v_0} \right)^2, \quad (4)$$

где v – текущее значение среднего среднеквадратичного значения виброскорости, м/с; v_0 – опорное значение виброскорости, принимается равным $5 \cdot 10^{-8}$ м/с.

Средневзвешенный суточный шум может быть рассчитан по формуле:

$$L_{den} = \frac{\sum L_i \cdot p_i}{\sum p_i}, \quad (5)$$

где L_i – эквивалентный скорректированный уровень шума за заданный период, дБ; p_i – доля времени события от суток [4].

Цель настоящей работы связана с выделением наиболее экологически опасных низких частот шумов различного вида транспорта – железнодорожного, автомобильного, гусеничного, а также шумов, создаваемых сейсмическим вибратором ЦВ-40. Следующий этап связан с получением численных оценок рис-

ков (2) – (6) в зависимости от шумовых частот, уровней акустического давления и сейсмических вибраций и сопоставление их с критическими нормами.

Решение проблемы

Рассматривается задача выделения из общего широкополосного спектра техногенных шумов характерных низкочастотных составляющих колебаний, определяющих вредное воздействие на человека и окружающую среду. Решение ее осуществляется на основе использования метода спектрально-временного анализа записей техногенных шумов, полученных в условиях полевых экспериментов с использованием уравнения в виде:

$$F(k,l) = \sum_{n=0}^{N-1} S_l(t_n) \exp\left(-i \frac{2\pi nk}{N}\right), l=1, \dots, L \quad (6)$$

Здесь L - количество секций длительностью $\Delta T = N \cdot \Delta t$ каждая, на которые разделяется искомый сигнал $S(t)$, Δt - интервал выборки дискретных значений сигнала. Полученные спектрально-временные функции (СВФ) транспортных шумов позволяют оценить динамику изменений спектров шумов во времени и пространстве, выделить их основные спектральные моды.

Экспериментальные результаты

Осуществлена обработка экспериментально полученных данных по шумам от различного вида транспорта с использованием (6). Ниже приводятся графики, позволяющие проследить динамику изменения спектров шумов и выделить наиболее экологически вредные частоты. В качестве примера, в частности, приводятся графики СВФ шумов гусеничной техники, представленные на рис. 1, а. Для сравнения рядом (рис. 1, б) представлены графики СВФ шумов тяжелого автомобиля КАМАЗ.

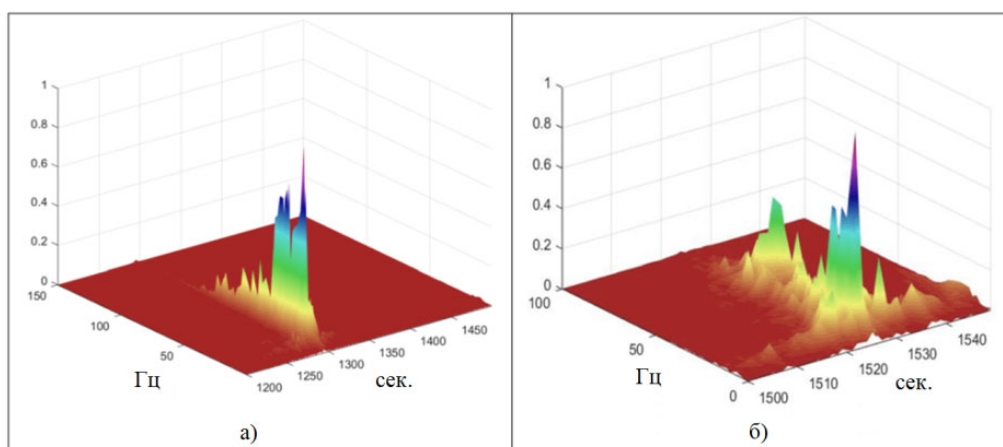


Рис. 1. Спектрально-временная функция (СВФ) сейсмических шумов:
а) гусеничного транспорта; б) КАМАЗа

Видно, что для гусеничной техники преобладающими являются частоты в диапазоне около 10-50 Гц. Для КАМАЗа характерны частоты, лежащие в диапазоне около 5-30 Гц, 50-65 Гц. Приведенные данные соответствуют удалению от источника шума на 20 м и средней скорости движения около 25 км/ч.

Записи акустических и сейсмических шумов железнодорожного транспорта (электропоездов, пассажирских и грузовых поездов) осуществлялась на удалении 30 м от железнодорожного полотна. Для каждого вида железнодорожного транспорта были получены графики СВФ в координатах амплитуда-частота-время, а также их проекции на плоскость «частота-время».

По результатам анализа СВФ установлено, что при скорости движения 50-80 км/час преобладающий диапазон частот для сейсмических шумов пассажирских поездов характерны частоты в полосе 5-44 Гц (рис. 2, а) с расположением основных спектральных мод в районе 8-9 Гц, 20 Гц. Частотный диапазон акустических шумов (рис. 2, б) охватывает полосу в пределах 3-15 Гц, а основная мода шумов лежит в районе 7-8 Гц.

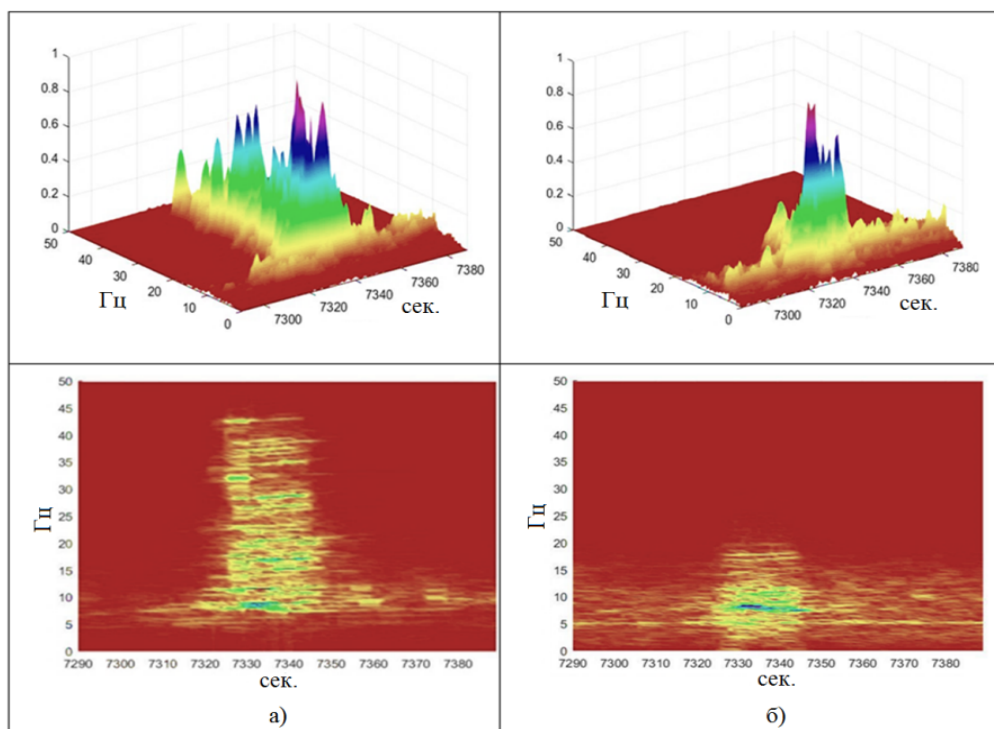


Рис. 2. СВФ и их проекции на плоскость "частота-время" для шумов пассажирского поезда:
а) сейсмический; б) акустический

Для сейсмических шумов электропоездов, движущихся со скоростью около 50-80 км/час характерны частоты в полосе 5-44 Гц с расположением основных спектральных мод в районе 8-11 Гц, 33, 38 Гц. Частотный диапазон акустических шумов находится в пределах 3-15 Гц, а основная мода шумов лежит в районе 7-8 Гц.

Для грузового поезда, движущегося со скоростью 40-70 км/час преобладающий диапазон частот сейсмических и акустических шумов охватывает область частот 4-10 Гц. При этом основная спектральная мода лежит в области 6-7 Гц.

Для каждого из рассмотренных видов транспорта были рассчитаны уровень шума и уровень виброскорости. Для КАМАЗа и гусеничной техники уровень виброскорости рассчитывался по данным, полученным при движении техники от сейсмостанции на расстоянии от 20 м до 1200 м. Расчеты проводились в полосах частот, характерных для рассматриваемого вида транспорта.

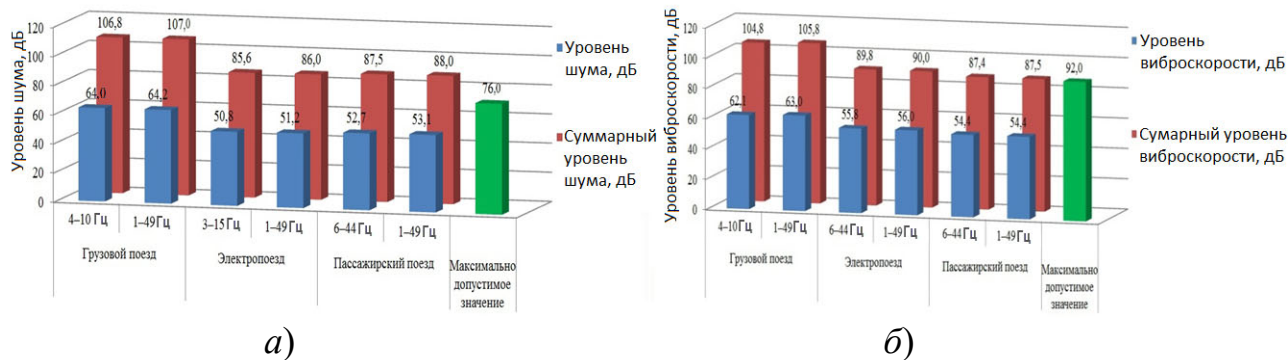


Рис. 3. Уровень шума и виброскорости

Результаты расчетов уровня транспортного шума представлены на гистограмме (рис. 3, а). На рис. 3, б представлена гистограмма результаты расчетов уровня виброскорости. Из данных гистограмм видно, что при расчете эквивалентного уровня шума и виброскорости превышений норм нет, однако при расчете суммарного уровня происходит превышение установленных норм.

Для КАМАЗа и гусеничной техники уровень виброскорости рассчитывался по данным, полученным при движении техники от сейсмостанции на расстоянии от 20м до 1200 м. Полученные графики зависимости уровня виброскорости представлены на рис. 4.

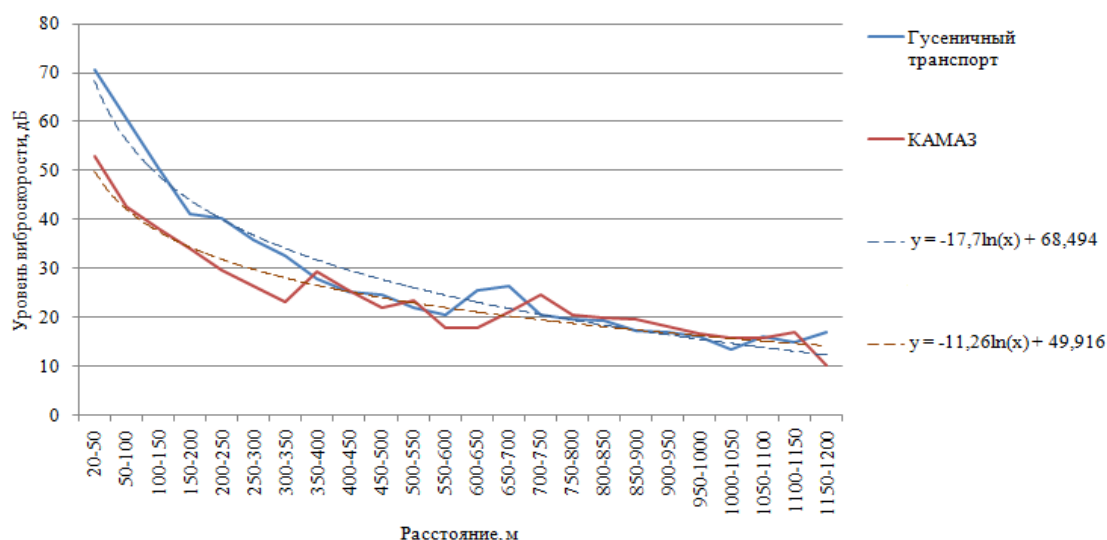


Рис. 4. Зависимость уровня виброскорости от расстояния для гусеничной техники и КАМАЗа.

Пунктирным линиям соответствуют графики аппроксимирующих функций; у соответствует уровню виброскорости, x - расстоянию

Видно, что уровень виброскорости при движении гусеничной техники выше, чем для КАМАЗа. При расстоянии, превышающем 400 метров, уровень виброскорости для этих двух видов транспортных средств находится приблизительно на одном уровне. Уровень ночного шума в данной местности по данным проведенных исследований равен около 0-1,6 Дб.

На рис. 5 приведен график зависимости уровня виброскорости для вибратора ЦВ-40 от расстояния.

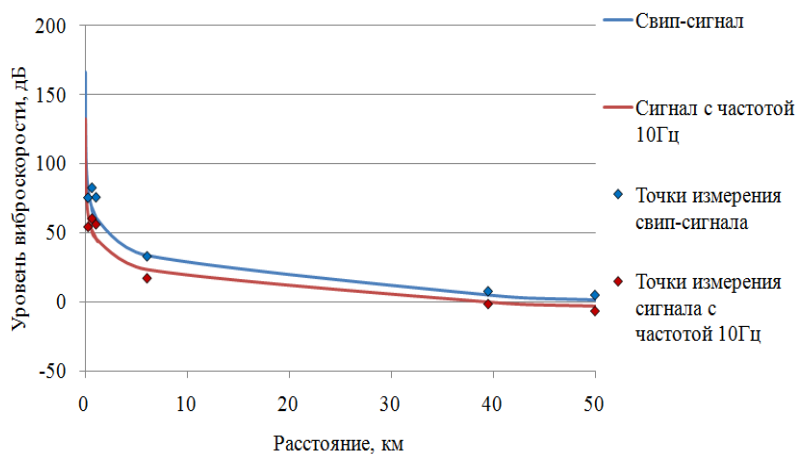


Рис. 5. Зависимость уровня виброскорости от расстояния для вибратора ЦВ-40

Для определения уравнения зависимости использовались данные об абсолютных значениях колебательной скорости сейсмических волн. Рассматривались данные, полученные в широкополосном диапазоне частот 7.91-11.23 Гц и в монохроматическом режиме с частотой колебаний, равной 10 Гц. Данные записывались на расстояниях от источника в диапазоне от 200 м до 342 км. Видно, что вблизи вибратора уровень виброскорости выше установленных норм. Так, на расстоянии 15 м уровень виброскорости свип-сигнала составляет около 121 дБ, что значительно превышает допустимый критерий, равный 96 дБ. Уровень виброскорости для монохроматического колебания с частотой 10 Гц составляет около 110 дБ.

Заключение

Рассмотрена проблема разрушительного воздействия техногенных шумов на окружающую среду в области низких и инфранизких частот, наиболее экологически опасных для человека, а также разрушительных для крупных сооружений. С помощью метода спектрально-временного анализа были проанализированы экспериментально полученные записи сейсмических и акустических шумов железнодорожного, тяжелого гусеничного и колесного транспорта, сейсмического вибратора ЦВ-40. Определены частотные области, являющиеся наибо-

лее характерными для каждого из рассмотренных видов источников сейсмических и акустических колебаний. На основе проведенной обработки данных определено, что преобладающие уровни транспортных шумов находятся в диапазоне экологически опасных частот. Получены пространственно зависимые оценки геоэкологических рисков, возникающих при сейсмических и акустических колебаниях по отношению к движущемуся тяжелому колесному и гусеничному транспорту.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ №№18-47-540006р_а, 20-07-00861а.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ковалевский В. В., Хайретдинов М. С. Экологоохранное прогнозирование с помощью сейсмических вибраторов // Проблемы информатики. 2013. № 3. – С. 42–53.
2. Kharchenko S.V. The influence of the relief of the urban area on the formation of the acoustic environment: experiment and modeling // Vestnik VSU, Series: Geography. Geocology, 2016, No. 3.
3. Thomas Munzel, Tommaso Gori, Wolfgang Babisch, Mathias Basner. Cardiovascular effects of environmental noise exposure, European Heart Journal 35 (13), 2014, pp. 829-836.
4. Оценка риска здоровью населения от воздействия транспортного шума: Методические рекомендации. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2012. – 48 с.
5. СН 2.2.4/2.1.8.566–96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.

© О. А. Копылова, М. С. Хайретдинов, 2021