

АНАЛИЗ И ПРЕДСКАЗАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ В ЭКОЛОГООХРАННЫХ ЗАДАЧАХ

^{1,2} Хайретдинов М.С., ²Шиманская Г.М., ²Седухина Г.Ф.

¹Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия, ²Институт
вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия

Рассматривается задача оценивания и предупреждения геоэкологических рисков в условиях городской инфраструктуры и природной среды от воздействия транспортных шумов, различных природно-техногенных экологически опасных источников. Фактор вредного воздействия их 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.). На основе численного моделирования и результатов виброакустических натурных экспериментов рассмотрено решение задачи.

Ключевые слова: Техногенные шумы, инфранизкие частоты, социальная инфраструктура, геоэкологические риски, численное моделирование, вибрационное зондирование атмосферы, пространственная фокусировка, шумозащита.

Analysis and prediction of technogenic geoecological risks in ecological protection tasks.^{1,2}Khairtdinov M.S., ²Shimanskaya G.M., ²Seduhina G.F., ¹Novosibirsk state technical university, Novosibirsk, Russia, ²Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, Siberian Branch of RAS, Novosibirsk, Russia

The problem of assessing and preventing geoecological risks in the conditions of urban infrastructure and the natural environment from the impact of traffic noise, various natural and technogenic ecologically hazardous sources is considered. The factor of their harmful impact on the environment increases sharply in the area of low and infra-low frequencies, the most environmentally dangerous for humans, as well as the most destructive for large structures (bridges, buildings, industrial premises, etc.). On the basis of numerical modeling and the results of vibroacoustic field experiments, the solution of the problem is considered..

Keywords: technogenic noise, infra-low frequencies, social infrastructure, geoecological risks, numerical modeling, vibrational sounding of the atmosphere, spatial focusing, noise protection.

Введение

Среди основных характеристик городской среды, влияющих на комфортность проживания, на одном из первых мест находится уровень шумового загрязнения. По оценкам Всемирной организации здравоохранения, около 40% населения в странах ЕС подвержены воздействию шума дорожного движения на уровнях, превышающих 55 дБ, а 20% – уровням, превышающим 65 дБ (А) в дневное время. Это связано с повышением автомобилизации населения, а также влияния шумов природного характера (от электрических разрядов и резких колебаний атмосферного давления, ураганов, и др.). Проблема вредного 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. Инфразвуковые колебания по частоте могут совпадать со многими процессами, происходящими в живом организме. Например, сокращения сердца лежат в инфразвуковом диапазоне 1-2 Гц; ритмы электрической активности головного мозга человека лежат в области частот 0.5-30 Гц и т.д.. При совпадении колебаний инфразвука по частоте с колебаниями в организме человека последние усиливаются, что может привести к расстройству работы органа. Выделяют пороги инфразвукового воздействия. Порог потенциальной опасности для жизни человека представляют инфразвуки интенсивностью 155 – 180 дБА. Порог безопасности считается при уровне инфразвука 90 дБА. Сказанное определяет необходимость решения, в широком смысле, проблемы оценивания, прогнозирования и снижения экологических рисков, порождаемых природно-техногенными шумами.

Постановка задачи

Оценивание влияния транспортных шумов на окружающую инфраструктуру и человека характеризуется решением комплекса взаимосвязанных задач. Прежде всего, такое влияние определяется одновременным распространением сейсмических и акустических шумовых колебаний от различных источников транспортных шумов. При этом в качестве одной из задач рассматривается выделение из общего широкополосного спектра транспортных шумов характерных низкочастотных составляющих в отношении различных видов транспорта, являющихся наиболее экологически угрожающими для человека. В основу численного моделирования и экспериментальных исследований авторами положен оригинальный вибросейсмический метод зондирования пограничных сред «атмосфера-лесной массив-

земля» с помощью мощных вибраторов, обеспечивающих экологическую чистоту и высокую повторяемость результатов исследований.

Другая задача из рассматриваемого комплекса связана с анализом метеозависимых эффектов распространения инфразвука. В частности, с применением вибрационного метода оценены эффекты направленности акустического волнового поля от инфранизкочастотных источников, обусловленные влиянием ветра, характеризуемого азимутальным направлением и скоростью. Как результат влияния возникает пространственное перераспределение интенсивности инфразвука, что может приводить к многократному возрастанию последнего в определенном азимутальном направлении (эффект пространственной фокусировки акустической энергии). Очевидно, с этим могут быть связаны разрушительные воздействия инфразвука [1].

Численное моделирование метеозависимого пространственного перераспределения интенсивности инфразвука

На распространение транспортных акустических шумов в атмосфере и сейсмических в земле влияют ряд факторов, к числу которых относятся метеофакторы, неоднородности строения среды распространения сейсмоакустических колебаний, естественная и искусственная неоднородность дневной поверхности земли., частотно-зависимые характеристики самих колебаний. Проведены численные расчеты по оцениванию эффектов направленности акустического волнового поля инфранизкочастотных источников, возникающих на фоне ветра, характеризуемого азимутальным направлением и скоростью. Эффект направленности акустического поля характеризуется *фактором фокусировки*, равным отношению интенсивности инфразвука в неоднородной движущейся среде к интенсивности его в безграничной неподвижной среде [2]:

$$f = I[z, \theta, \varphi] / I_0 \quad (1)$$

Здесь в рамках прямоугольной системы координат ось z направлена вверх от поверхности Земли, а направление оси x на высоте h совпадает с направлением ветра. Начальное направление луча характеризуется сферическими углами θ (зенитный угол) и φ (азимут). На рис.1 приведены графические зависимости f от азимута φ точек наблюдения [3]. По аналогии с направленным излучением колебаний количественно фактор фокусировки может быть охарактеризован шириной раскрытия $\Delta\varphi$ в градусах на уровне 0.7 от максимального значения разницы между наибольшим $f_{\max}$ и наименьшим $f_{\min}$ значениями фактора фокусировки: $\Delta\varphi \leftrightarrow 0.7 (f_{\max} - f_{\min})$. В частности, скорости ветра $w_0 = 6$ м/с соответствует $\Delta\varphi = 150$ град. Для сравнения на рисунке приводится экспериментально полученный график фактора фокусировки с использованием сейсмического вибратора ЦВ-40 и круговой расстановки датчиков с радиусом 12 км при скорости ветра 4-6 м/с. Методика измерений описана в [3].

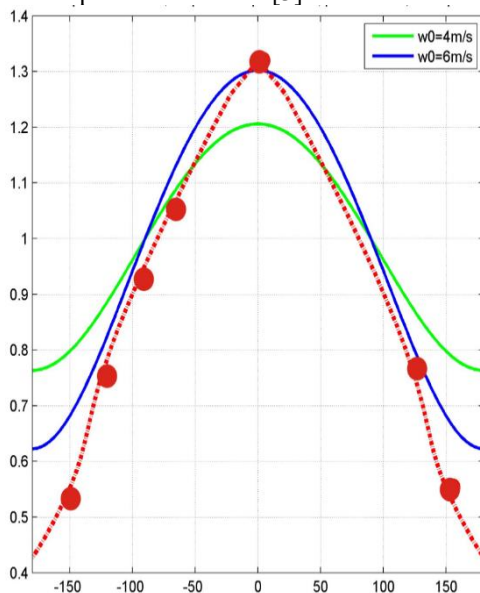


Рисунок 1 – Зависимость фактора фокусировки f от горизонтального расстояния от источника r и азимута α точки наблюдения: Расчетные графики для круговой расстановки датчиков с радиусом 12 км и скоростей ветра 6 м/с (кривая синего цвета) и 4 м/с (кривая зеленого цвета). Высота источника над землей-5 м. Красный точечный график- экспериментально полученный для той же расстановки, скорость ветра 4-6 м/с

Как видно из сравнения расчетного и экспериментального графиков значения раскрытия $\Delta\varphi$ в обоих случаях приблизительно совпадают и характеризуют островыраженную ветрозависимую направленность

излучения. Следствием этого могут быть повышенные экологические риски разрушений объектов недвижимости и нарушений здоровья по отношению к человеку.

Численное моделирование поглощения акустической энергии растительным массивом на низких частотах

В рамках решения проблемы шумозащиты с применением защитных лесонасаждений в качестве шумовых барьеров, высаживаемых вдоль крупных автомагистралей и железных дорог, рассмотрена задача изучения процесса взаимодействия акустических волновых фронтов с проницаемыми препятствиями, к которым относится лесной массив [4]. Для решения поставленной задачи рассматривается 3-слойная модель, состоящая из воздуха, лесного массива и упругого грунта (Рис. 2). Акустическая волна падает на лесной массив под заданным углом θ ($0 \leq \theta \leq 90^\circ$) к вертикали. В данной модели верхний воздушный слой имеет скорость звука c и плотность ρ . Растительный массив создает эффект поглощения и характеризуется коэффициентом поглощения α . Коэффициент α зависит от коэффициента аэродинамического сопротивления c_d и удельной плотности S поверхности листьев и ветвей. Грунт – нижний слой – имеет плотность ρ_g , скорости продольных и поперечных волн V_p и V_s . Исследуется вопрос о том, насколько уменьшается амплитуда акустической волны в зависимости от свойств растительного массива, т.е. насколько массив поглощает акустические колебания [5].

Для воздуха рассматриваются волновые уравнения с постоянной плотностью и скоростью звука. Их решение можно представить в виде суперпозиции гармонических волн. Тогда результирующее давление в воздухе будет представлено как сумма давлений падающей и отраженной волн:

$$P = P_0 e^{i\omega t - ik_x x - ik_z z} + P_1 e^{i\omega t - ik_x x - ik_z z}$$

Здесь k_x, k_z – проекции волновых векторов по осям x и z .

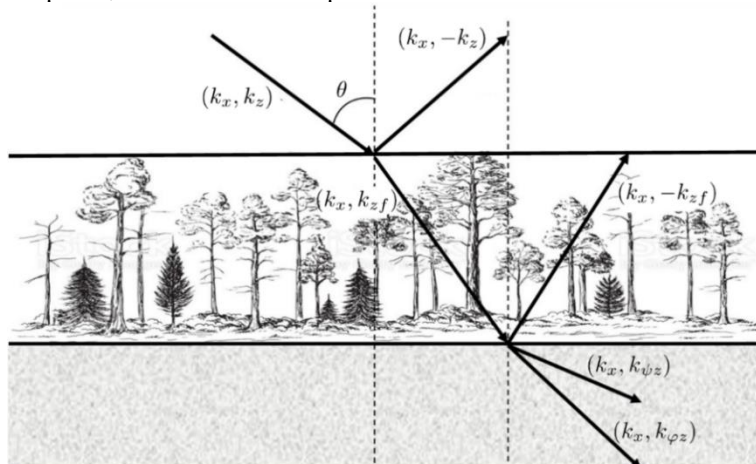


Рисунок 2 – Трехслойная модель «атмосфера-лесной массив-грунт» со схемой падающих, отраженных и преломленных волн в слоях

С учетом выбранной математической модели разработаны и реализованы численные методы, алгоритм и программа для расчетов уровней акустического давления в разных средах с применением уравнений газовой динамики Эйлера для растительного массива [5]. В качестве примера на рис.3 изображены графики акустического давления для преломленной и отраженной волн соответственно в зависимости от угла падения θ в случае прохождения акустической волны через лес при различных высотах 0, 5, 10, 50 метров, частота $f=10$ Гц. Особенности эффекта поглощения здесь проявляются в монотонном уменьшении уровней преломленной и отраженной акустической волн с ростом угла падения волны θ и высоты ее прохождения H . При высоте 50 м и $\theta=90^\circ$ амплитуда акустического давления может уменьшаться более чем на порядок.

Многофакторная численная модель шумовых воздействий

Один из критериев шумовых воздействий определяется величиной геоэкологических рисков, оцениваемых удельной плотностью энергии:

$$E = \frac{1}{\rho c} \int_0^T p^2(t) dt \quad (2)$$

Где ρc — удельное акустическое сопротивление воздуха, равное $42 \text{ г}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$; $p(t)$ — акустическое давление, регистрируемое на выходе акустического датчика; T — длительность акустического колебания. Для человека безопасной является величина удельной плотности энергии до $3 \text{ Дж}/\text{м}^2$. Определяющим параметром в (2) является энергетическая характеристика акустического

воздействия, связанного с внешним акустическим давлением на данной частоте. Последнее является интегральным параметром, зависящим от ряда факторов. Многофакторная модель интегрального давления может быть описана уравнением энергетического баланса:

$$P_{\Sigma}(t, f, r) = P_V(f) + P_1(r) + P_2(e, \tau, \omega, \varphi) + P_3(1/r) \quad (3)$$

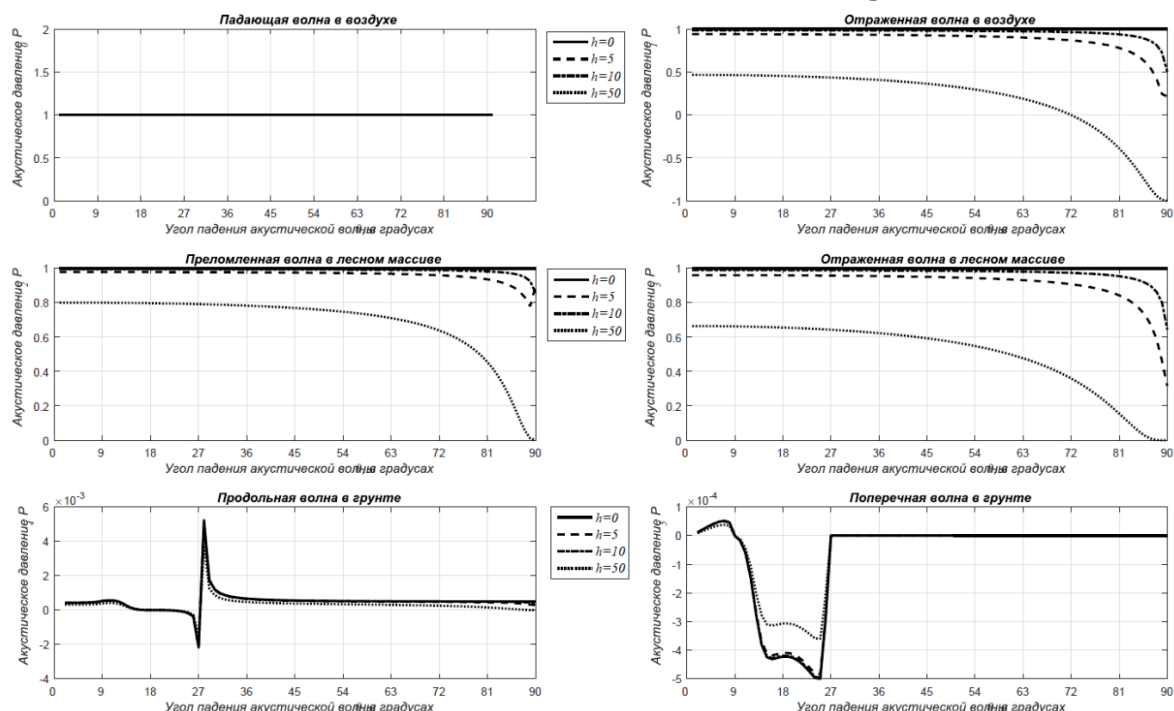


Рисунок 3 – Графики зависимости акустического давления для преломленной и отраженной волн от угла падения θ в случае прохождения акустической волны через лес при различных высотах $H=0, 5, 10, 50$ метров, частота $f=10$ Гц

Здесь $P_{\Sigma}(t, f, r)$ – давление в точке регистрации на удалении r от источника; $P_V(f)$ – частотно зависимое акустическое давление, развиваемое источником; $P_1(r)$ – поглощение инфразвука по расстоянию, определяемое неоднородностью атмосферы и покровом дневной поверхности Земли; $P_2(e, \tau, \omega_0, \varphi)$ – давление в пункте регистрации как функция метеопараметров: относительной влажности, температуры, скорости и направления ветра, угла φ между направлением ветра и волновым фронтом от источника; $P_3(1/r)$ – давление как результат сферической расходимости волнового фронта.

Получение оценок (3) в аналитическом виде наталкивается на сложности из-за отсутствия полноты априорных сведений, входящих в (3). Один из путей преодоления априорной неопределенности связан с получением оценок (3) на основе экспериментов с применением сейсмоакустических источников транспортного шума и вибраторов в качестве излучателей инфранизкочастотных акустических колебаний.

Результаты экспериментов

Рассматривается задача выделения из общего широкополосного спектра транспортных шумов характерных низкочастотных составляющих в отношении различных видов транспорта, являющихся наиболее экологически угрожающими для человека. Решение ее осуществляется на основе использования метода спектрально-временного анализа записей транспортных шумов, полученных в условиях полевых экспериментов. Полученные спектрально-временные функции (СВФ) шумов тяжелой техники позволяют оценить динамику изменений спектров шумов во времени и пространстве, выделить их основные спектральные моды. В качестве примеров такой функции на рис. 4 приведены СВФ и их проекции на плоскость «частота-время» для шумов сейсмических- а), акустических -б) пассажирских поездов. В этом случае сейсмические шумы охватывают полосу частот 5-40 Гц (рис.4а) с расположением основных спектральных мод в районе 8-9 Гц, 20 Гц. В отношении одновременно регистрируемых акустических шумов (рис.4б) видно, что частотный диапазон шумов уже- в пределах 3-15 Гц, а основная мода шумов лежит в районе 7-8 Гц.

Заключение

Предложен и проанализирован комплексный теоретико-экспериментальный подход в интересах решения проблемы снижения геоэкологических рисков от техногенных шумов, заключающийся в частотном анализе и оценивании наиболее вредных частотных составляющих шумов от различного вида тяжелого транспорта, теоретико-экспериментальном оценивании возрастании рисков при воздействии метео-факторов на распространение инфразвука в атмосфере; численном оценивании эффектов компенсации рисков с помощью лесонасаждений в зависимости от параметров взаимодействия инфразвука со средой.

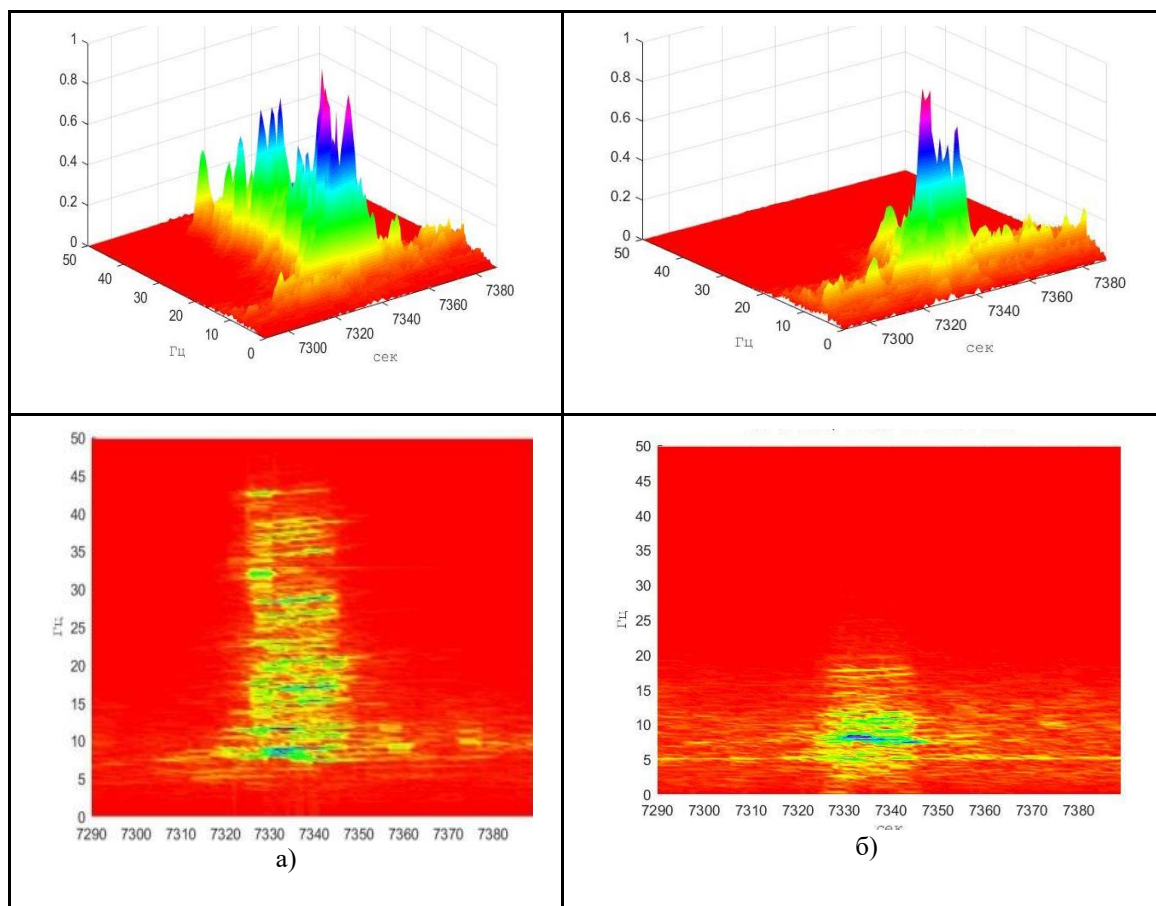


Рисунок 4 – Спектрально-временные функции (СВФ) и их проекции на плоскость «частота-время» для шумов пассажирских поездов а)-сейсмических; б)-акустические

Благодарности

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

Литература

1. Marat S. Khairtdinov, Valery V. Kovalevsky, Gulnara M. Shimanskaya, Galina F. Sedukhina and Alexander A. Yakimenko. ACTIVE MONITORING TECHNOLOGY IN STUDYING THE INTERACTION OF GEOPHYSICAL FIELDS. // Active Geophysical Monitoring. Elsevier (Second Edition), Chapter 3.3, 2019. P. 207-222. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102684-7.00010-8>
2. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. М.: Наука, 1973, с.261
3. М.С. Хайретдинов, В.В. Ковалевский, Г.М. Воскобойникова, Г.Ф. Седухина. Оценивание метеозависимых геоэкологических рисков от взрывов с помощью сейсмических вибраторов. // Технологии сейсморазведки, № 3, 2016, с. 132–138.
4. Pierre Chobeau Modeling of Sound Propagation in Forests Using the Transmission Line Matrix Method. Study of multiple scattering and ground effects related to forests // Université du Maine, Le Mans, France, – 2014. – 147 P.
5. Khairtdinov M.S., Voskoboinikova G.M., Karavaev D.A. Numerical Simulation of Acoustic Waves Propagation in an “Atmosphere–Forestland–Ground” System // Journal of Applied and Industrial Mathematics 13(1), Publisher Name: Pleiades Publishing Ltd., January 2019, Volume 13, Issue 1, pp 175–183. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1990478919010186> ISSN: 1990-4789 ISSN: 1990-4789.