

а)-высотные (в км) профили температуры T , компоненты горизонтального ветра u_x (м/с) по данным радиозонда, высоты отражения $Z_{отр}$;

б)- акустические волны от вибратора ЦВ-100 (оз. Байкал) на удалении 85.5 км с временем вступления 262 сек.

Заключение

Рассмотрены и проанализированы вопросы взаимодействия смежных волновых полей в геофизике- сейсмо-гидроакустических, метео-акустических. Теоретически рассмотрены условия оптимизации процессов взаимодействия и приведены результаты их проявления в натуральных экспериментах.

Полученные результаты имеют практическую значимость для решения задач геоэкологии, морской сейсморазведки на шельфах и др. прикладных задач.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ -грант№ 20-07-00861-а

Литература

1. Alekseev A.S., Glinskii B.M., Dryakhlov S.I., Kovalevskii V.V., Mikhailenko B.G., Pushnoi B.M., Fatianov A.G., Khairtdinov M.S., Shorokhov M.N., The effect of acoustoseismic induction at vibroseismic sounding. Dokl. Akad. nauk, vol.346, no. 5, 1996, pp.664–667.
2. 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, 2020. P. 207-222. ISBN: 978-008102684-7
3. Glinskii B.M., Kovalevsky V.V., Khairtdinov M.S. Relationship of wave fields from powerful vibrators with atmospheric and geodynamic processes. Russian Geology and Geophysics 40 (3), 422-431.
4. Khairtdinov M.S., Poller B.V., Borisov B.D., Britvin A.V. Acoustooptical Interaction on Infrasound in Problems of Laser Ecological Monitoring. Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing, 2020, 56(6), p.p. 634-641
5. Robert J. Urick. Principles of Underwater Sound. McGraw-Hill, Book Company, 1975. P. 445.
6. Хайретдинов М.С., Воскобойникова Г.М., Ковалевский В.В., Седухина Г.Ф., Якименко А.А. Сейсмоакустические волны сейсмодвижителей в системе литосфера-атмосфера. // Вестник Национального ядерного центра Респ. Казахстан. Вып. 2 (74). 2018. С. 44-48.
7. Л.М. Бреховских, Ю.П. Лысанов. Теоретические основы акустики океана. Л.: Гидрометеиздат, 1982, 264 с.
8. Л.М. Бреховских. Волны в слоистых средах. М.: Наука, 1973, 343 с.
9. Razin A.V. On Propagation of sound in an inhomogeneous moving atmosphere. Izv. Akad. nauk SSSR. Physics of Atmosphere and Ocean. 1982, vol. 18, no. 6, pp. 674-676.

ПОВЫШЕНИЕ ДАЛЬНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ ТРАНСПОРТНЫХ ШУМОВ

Копылова О.А., Доброродный В.И.*

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, * Тюменское высшее
военно-инженерное командное училище им. маршала инженерных войск А.И. Прошлякова
+7 (383) 330-87-43, oksana@org.sccc.ru

Статья посвящена исследованию проблемы повышения дальности обнаружения подвижных источников транспортных шумов на основе данных записей сейсмических колебаний в земле и акустических в атмосфере. В качестве примеров в статье рассматривается железнодорожный, тяжелый гусеничный и колесный виды транспорта. Предлагается решение проблемы на основе предварительной полосовой фильтрации и квадратурного алгоритма обработки техногенных шумов. Выполнен статистический анализ частотно-временных спектров с целью определения характерных частотных характеристик для тяжелого транспорта в зависимости от скорости движения и дальности. Полученные результаты позволяют в дальнейшем сформулировать требования для решения задач распознавания транспортных объектов нейросетевыми методами.

Ключевые слова: сейсмические и акустические колебания, обнаружение транспорта, полосовая фильтрация, квадратурный анализ, транспортные шумы, сейсмический вибрационный источник.

Increasing the detection distance of transport noise sources. Kopylova O.A., Dobrorodny V.I.*, Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, * Tyumen Higher Military Engineering Command School named after Marshal A.I. Proshlyakov.

The paper is devoted to the study of the problem of increasing the detection distance of moving transport noise based on records of seismic oscillations in the ground and acoustic oscillations in the atmosphere. As examples, railway, heavy tracked and wheeled types of transport are discussed in the paper. The paper considers the possibility of solving the problem under consideration based on the preliminary band-pass filtering and quadrature processing algorithm. The statistical analysis of frequency-time spectrums was performed to determine the characteristic frequency characteristics for heavy transport as a function of speed and distance. The obtained results make it possible to further formulate the requirements for solving the problems of recognition of transport objects using neural network methods.

Keywords: seismic and acoustic oscillations, transport detection, band-pass filtering, quadrature analysis, transport noise, seismic vibrator.

Введение

Проблема геофизического мониторинга окружающих техногенных и природных шумов в связи с их возрастающим воздействием на социальную среду приобретает все более высокую актуальность [1–3]. Одной из первоначальных задач при мониторинге в режиме времени, приближенном к реальному является обнаружение источников транспортных шумов.

В основе обнаружение движущихся объектов лежат алгоритмы определения отличительных особенностей полезных сигналов и фонового шума. Эффективность работы таких алгоритмов зависит от соотношения уровней полезных сигналов и шумов [4–6]. В [7] рассматривается алгоритм поточного обнаружения для случая многоканальной обработки сигнала. В [8] рассмотрено использование вейвлет-преобразования для определения времени вступления искомого сигнала.

Решение задачи осуществляется на основе записей, полученных при трехкомпонентной регистрации сейсмических колебаний от источника в прямоугольной системе координат X, Y, Z , а также записей акустических колебаний. Транспортные колебания описываются квазигармоническими функциями с переменными параметрами на фоне широкополосного шума. Измеряемые при этом характеристики сейсмоакустических волн используются в качестве информативных параметров для решения задачи обнаружения. При этом рассматривается проблема повышения точности обнаружения транспортного объекта на основе данных записей сейсмических и акустических колебаний в текущие моменты времени. Для решения данной проблемы предлагается использование предварительной полосовой фильтрации, основанной на выделении основных частотных составляющих, характеризующих источники шумов. По результатам натурных экспериментов приводятся оценки дальности обнаружения транспортных объектов в зависимости от выбора частотных параметров предварительной цифровой фильтрации.

Постановка задачи

В предположении однородности среды распространения сейсмических колебаний рассматривается задача обнаружения транспортного объекта в текущие моменты времени в сейсмоакустической системе наблюдения. Предполагается, что функция излучения колебаний источником $F(\omega, t)$ имеет двоякую природу: в виде сейсмических колебаний в земле и акустических в атмосфере: $F(\omega, t) = F_s(\omega, t) + F_a(\omega, t)$. Сейсмическая составляющая $F_s(\omega, t)$, в свою очередь, складывается из квазигармонических составляющих $F_g(\omega_i)$, адекватных типу источника (числу оборотов основного двигателя, вспомогательных вращающихся механизмов) и широкополосного шума $F_n(\omega)$, вызванного случайными вибрациями механизмов транспортного объекта и процессами взаимодействия его со средой. С учетом этого в удаленной точке регистрации наблюдается сигнал вида $F_s(\omega, t) = F_s(\omega, t) \cdot g(\omega) + N(\omega)$, где $g(\omega)$ – передаточная функция среды в направлении «излучатель-регистратор», $N(\omega)$ – внешний широкополосный шум, существующий в земле в виде микросейсм. С учётом этого применительно к сигналу на выходе регистрирующего датчика возникает задача обнаружения и измерения времени прихода полезного сигнала $F(\omega, t) = F_s(\omega, t) \cdot g(\omega)$ на фоне случайного шума $N(\omega)$. Учитывая случайную природу полезного транспортного сигнала, решение задачи его обнаружения реализуется с использованием порогового алгоритма обнаружения, основанного на вычислении энергетической характеристики сигнала:

$$v = \frac{\sum_{i=1}^N x_i^2}{N} \geq G \quad (1)$$

Здесь N – длительность окна усреднения, выбираемая исходя скоростных характеристик движущегося объекта, x_i – текущий отсчет записи колебаний, G – пороговое значение, определяемое по фоновому шуму и рассчитываемое на интервалах отсутствия полезного сигнала.

Величина порогового значения устанавливается в зависимости от того, с какой вероятностью требуется определять наступление сейсмического события. Так, например, для определения наступления события с вероятностью, равной 95,44% пороговое значение устанавливается равным двум среднеквадратичным отклонениям квадрата амплитуды колебаний фонового шума.

Время вступления t_l полезных колебаний соответствует моменту наступления условия (1), время окончания – обратному условию (1).

Задача обнаружения состоит в определении условий, максимизирующих критерий (1) обнаружения движущихся транспортных объектов.

Для определения информативных признаков ставится задача выделения из общего широкополосного спектра транспортных шумов наиболее характерных низкочастотных составляющих для различного вида транспорта.

Решение задачи

Для повышения точности обнаружения источников колебаний необходимо предварительно решить задачу подавления шумов и выделения полезных сигналов. Это можно сделать с помощью процедуры цифровой фильтрации, основанной на применении фильтра Баттерворта. Данный фильтр характеризуется максимально плоской амплитудно-частотной характеристикой отклика в полосе пропускания и монотонной в полосе задерживания. Рассматриваемый фильтр можно описать уравнением:

$$K(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^{2n}}}, \quad (2)$$

где ω_0 – граничная частота, n – порядок фильтра.

Нижние и верхние границы фильтрации применительно к виду транспорта могут быть определены на основе проведения спектрально-временного анализа записей транспортных шумов. В рамках такого подхода, в частности, были проведены экспериментальные работы, связанные с регистрацией сейсмических колебаний от тяжелой гусеничной техники.

Решение задачи определения характерных низкочастотных составляющих в отношении различных видов транспорта решается на основе анализа транспортных шумов с применением спектрально-временного анализа

$$F(k, l) = \sum_{n=0}^{N-1} S_l(t_n) \exp\left(-i \frac{2\pi nk}{N}\right), l = 1, \dots, L, \quad (3)$$

Здесь N – длительность временного окна в отсчетах, L – количество временных окон длительностью $\Delta T = N \Delta t$ каждая, на которые секционируется искомым шумовой сигнал $S(t)$, Δt – интервал дискретизации входных сигналов.

Дополнительно рассматривается задача обнаружения сигналов техногенного источника шумов – сейсмического вибрационного источника. Решение задачи осуществляется на основе квадратурного алгоритма обнаружения. Ниже приводятся результаты решения обоих видов задач.

Решение задачи обнаружения и измерения параметров техногенного источника на фоне превосходящих шумов

В последние 30 лет, стремясь улучшить прогноз сейсмической опасности, сейсмологи обратились к активным методам геофизического мониторинга, используя мощные сеймовибраторы для изучения изменений напряженно-деформированного состояния геологической среды в пределах сейсмоактивных зон. За этот период было создано несколько экспериментальных систем активного мониторинга [9]. В 2021г. были проведены экспериментальные работы в рамках проекта РФФИ с участием Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (г. Новосибирск), Института физики Земли РАН (г. Москва), Института геологии СО РАН (г. Улан-Удэ). Вибрационным источником генерировались монохроматические сигналы на частотах 7, 8 и 9Гц длительностью по 10 минут каждый. Регистрация сейсмических колебаний от источника проводилась на расстоянии около 85 км.

На основе данных этого эксперимента были получены спектрально-временные характеристики сейсмических колебаний, регистрируемых на дальних расстояниях. На рис. 1 видно, что длительность регистрируемого монохроматического сигнала значительно выше длительности его излучения, что связано с процессами многолучевости распространения гармонических колебаний в сложнопостроенных средах.

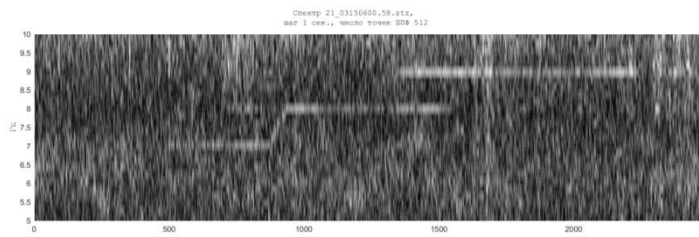


Рисунок 1 – Спектрально-временная функция (СВФ) записей колебаний на расстоянии около 85км от источника колебаний

Для выделения слабых гармонических сигналов и измерения их параметров на фоне помех в данной работе используется квадратурный алгоритм определения амплитуд и начальной фазы искомого сигнала [10]. С его помощью для случаев излучения вибрационным источником колебаний с частотами 8Гц и 9Гц были получены текущие значения оценок амплитуд и фаз сигнала на каждом шаге в поточном режиме, т.е. с поступлением последовательности временных отсчетов колебаний (рис. 2). На отрезке записи, соответствующему времени начала регистрации искомого монохроматического сигнала, происходит увеличение амплитуды, а также происходит стабилизация фазы. В момент прекращения сигнала значение амплитуды начинает падать до исходного уровня, фаза начинает изменяться хаотически. Таким образом, основываясь на этих данных, можно определить времена возникновения и окончания полезного сигнала. Было определено, что для вертикальной компоненты датчика сигнал с частотой 8Гц выделяется на протяжении около 860с, а сигнал с частотой 9Гц – около 890с.

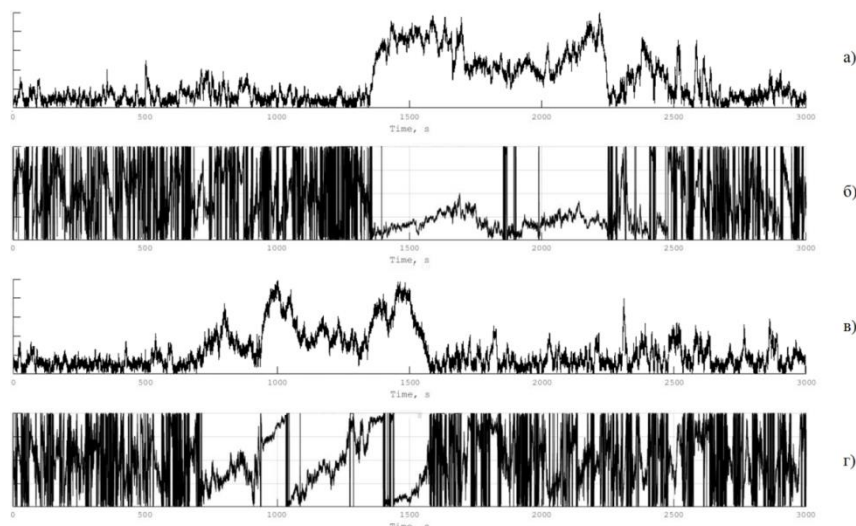


Рисунок 2 – Квадратурная обработка записи, полученной по вертикальной компоненте
а) накопление амплитуды для сигнала с частотой 9Гц; б) накопление фазы для сигнала с частотой 9Гц;
в) накопление амплитуды для сигнала с частотой 8Гц; г) накопление фазы для сигнала с частотой 8Гц.

Решение задачи обнаружения транспортных средств

Был проведён ряд натурных экспериментов по обнаружению транспортных сигналов на расстояниях до 3-х километров. Регистрация сейсмоакустического волнового поля от транспортных средств осуществлялась с помощью трёхкомпонентных сейсмических датчиков GS-3 и СК1-П, а также акустических датчиков ПДС-7 [11, 12]. Записи сейсмических и акустических колебаний вблизи автодороги и железнодорожных путей представлены на рис. 7.

Спектрально-временные характеристики транспортных шумов некоторых видов транспорта представлены на рисунках 3 – 5. На приведенных рисунках хорошо видно, что для рассматриваемых видов транспорта характерной особенностью является появление низкочастотной узкополосной составляющей в регистрируемом сигнале. Так, для грузовых поездов хорошо выделяется частотная составляющая около 6 – 7Гц. Значения преобладающих частот колебаний среды, возникающих при движении тяжелого гусеничного транспорта, напрямую зависят от его скоростного режима (рис. 6).

С целью выделения времен прохождения грузовых поездов был также использован квадратурный метод анализа. На рис. 8. Представлены результаты такой обработки при выделении частоты сигнала, равной 6Гц. Показано, что наиболее выраженный амплитудный всплеск приходится именно на времена прохождения грузовых поездов. Колебания от других источников подавляются.

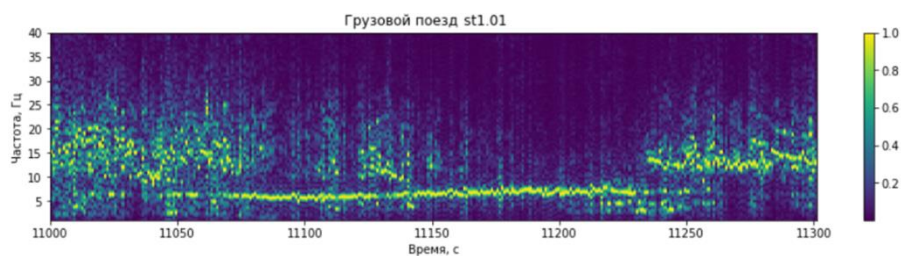


Рисунок 3 – Нормированная по амплитуде СВФ сейсмических колебаний, возникающих при движении грузового поезда в диапазоне до 40Гц с шагом 1 сек вблизи автодороги. Минимальное расстояние от ЖД путей около 147м. Сейсмический датчик – СК1-П.

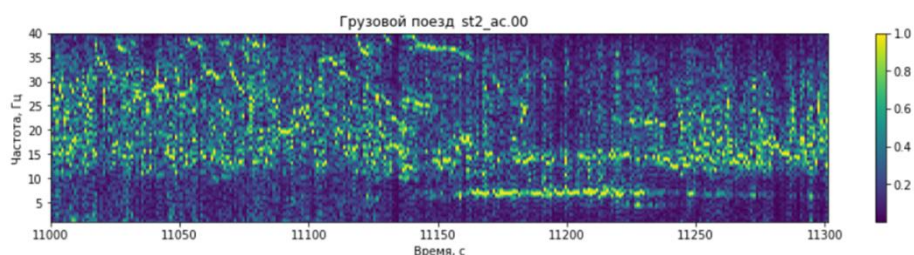


Рисунок 4 – Нормированная по амплитуде СВФ акустических колебаний, возникающих при движении грузового поезда в диапазоне до 40Гц с шагом 1 сек вблизи автодороги. Минимальное расстояние от ЖД путей около 159м. Сейсмический датчик – GS-3.

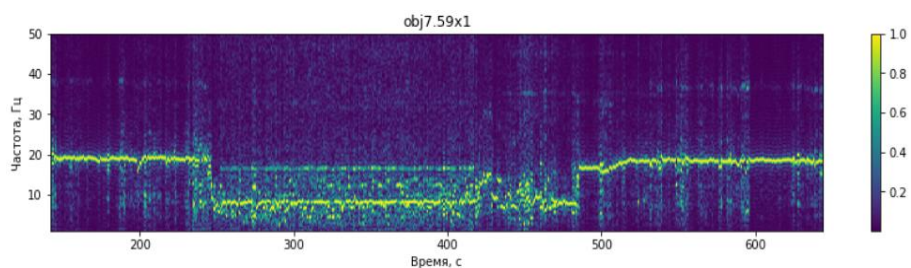


Рисунок 5 – СВФ записи колебаний движущегося тяжелого гусеничного транспорта

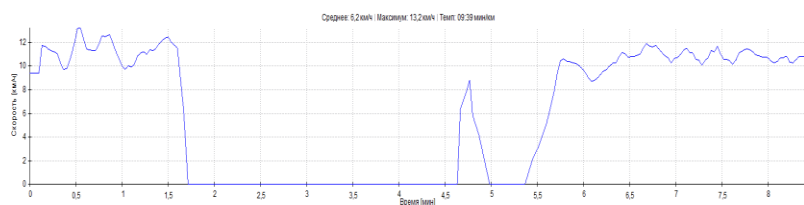


Рисунок 6 – Профиль скорости движения тяжелого гусеничного транспорта полученного при помощи записи трека.

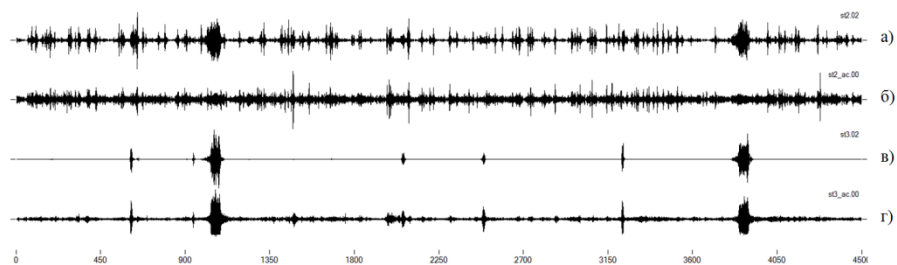


Рисунок 7 – Записи сейсмических и акустических колебаний. а) Сейсмические колебания вблизи автодороги; б) Акустические колебания вблизи автодороги; в) Сейсмические колебания вблизи ЖД путей; г) Акустические колебания вблизи ЖД путей.

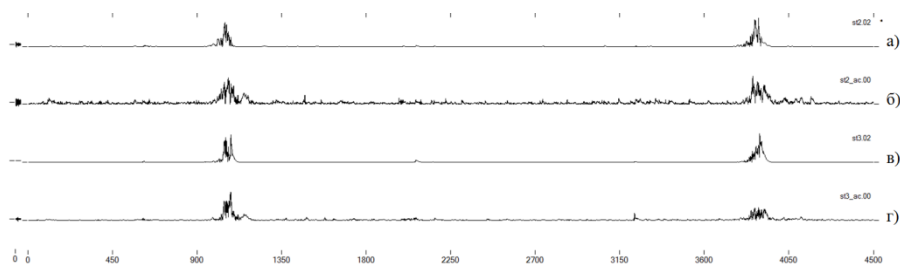


Рисунок 8 – Квадратурная обработка записей, представленных на рис. 7. Накопление амплитуды для сигнала с частотой 6 Гц, окно = 10сек. а) Сейсмические колебания вблизи автодороги; б) Акустические колебания вблизи автодороги; в) Сейсмические колебания вблизи ЖД путей; г) Акустические колебания вблизи ЖД путей.

На рис. 9 представлен пример работы алгоритма обнаружения для движущейся гусеничной техники в двух вариантах: при фильтрации в широкой полосе частот исходного колебания (1-50 Гц) и в полосе 10-20 Гц. В обоих случаях моменты обнаружения соответствуют уровню значимости 0.95. В первом случае момент обнаружения транспортного средства соответствует нахождению его на расстоянии около 1360 м от регистратора, во втором – около 1470 м. Таким образом, можно увидеть, что предварительная фильтрация исходных колебаний в информативной полосе частот способствует существенному увеличению дальности обнаружения.

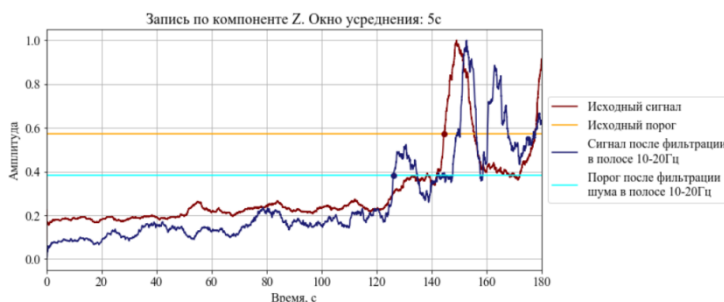


Рисунок 9 – Результат работы алгоритма обнаружения на примере обработки записи колебаний движущейся гусеничной техники с применением порога обнаружения с уровнем значимости 0.95 на расстоянии от сейсмического датчика около 1470 м при фильтрации в полосе частот 10-20Гц, на расстоянии от сейсмического датчика около 1350 м без предварительной фильтрации.

Заключение

В статье рассмотрена задача повышения дальности обнаружения тяжелых транспортных средств по записям сейсмических колебаний, регистрируемых на поверхности земли, и акустических в атмосфере. Обнаружение осуществлялось с использованием порогового алгоритма, основанного на вычислении энергетической характеристики сигнала. На выделенных участках записей были определены характерные для рассматриваемых видов транспорта спектральные составляющие. На основе полученной статистики были реализованы алгоритмы обнаружения транспортных средств. Рассмотрены способы повышения дальности обнаружения на основе предварительной полосовой фильтрации в информативных полосах частот, а также с использованием квадратурного алгоритма обработки в целях выделения характерного для источника узкополосного сигнала. Данные алгоритмы опробованы на данных реальных экспериментов. По результатам натурных экспериментов приводятся сравнительные оценки дальности обнаружения транспортных средств с использованием предложенных алгоритмов.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 20-07-00861А); при финансовой поддержке в рамках реализации программы развития НГТУ, научный проект №С22-26.

Литература

1. Харченко С.В. Влияние рельефа городской территории на формирование акустической обстановки: эксперимент и моделирование // Вестник ВГУ, Серия: География. Геоэкология, 2016, № 3.,
2. Thomas Munzel, Tommaso Gori, Wolfgang Babisch, Mathias Basner. Cardiovascular effects of environmental noise exposure, European Heart Journal 35 (13), 2014, pp. 829-836
3. Using natural means to reduce surface transport noise during propagation outdoors / T. Van Renterghem [et al.] // Applied Acoustics. – 2015. – №92. – P. 86-101....

4. Левковская Т.В., Козлов Э.В., Мурашко Н.И. Обработка сейсмических сигналов в интеллектуальных системах пассивной локации. Информатика. 2010;(3(27)) с. 89-96.
5. Алямкин С.А. Классификация объектов в сейсмической системе обнаружения с учетом параметров их движения. Автореф... дис. кан. тех. наук. – Новосибирск.: 2014. – 21с.
6. Давыдов, А. Б. Детектор для обнаружения момента вступления сейсмической волн / А. Б. Давыдов, А. И. Шемаров // Доклады БГУИР. - 2011. - № 1 (55). - с. 23 - 30.
7. Хайретдинов М.С., Авроров С.А. Поточное обнаружение и распознавание сейсмических волн в шумах. // Мат. междунар. научного конгресса «Гео-Сибирь-2007». – Новосибирск, 24-28 апреля 2007. - с. 269-273.
8. Веревкин А.П., Казбулатов И.Г. Метод распознавания времени прибытия Р- и S-волн микросейсмических событий с использованием вейвлетов. Территория «НЕФТЕГАЗ». 2015;(5):20-26.
9. Valery V. Kovalevsky, Boris M. Glinsky, Marat S. Khairtdinov, Alexey G. Fatyanov, Dmitriy A. Karavaev, Lyudmila P. Braginskaya, Andrey P. Grigoryuk and Tsyren A. Tubanov. Active vibromonitoring: experimental systems and fieldwork results. // Active Geophysical Monitoring (Second Edition). Elsevier, Chapter 1.3, 2020. P. 43-65. DOI: 10.1016/B978-0-08-102684-7.00003-0
10. Хайретдинов М.С., Родионов Ю.И., Дворецкая Л.Г. Программно-технические средства обработки вибросейсмических сигналов и анализа микросейсм. Препринт 969, ВЦ СО РАН, Новосибирск, 1993, с.42.
11. Geospace Technologies [электронный ресурс] // URL: <https://www.geospace.com/>
12. Сейсморазведка. Справочник геофизика /Под ред. И.И. Гурвича, В.П. Номоконова. – М.: «Недра», 1981. – 464 с.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ ЯЗЫКА НА НЁБО

Мурашкина Т.И., Бадеева Е.А., Арутюнов А.В.*, Истомина Т.В. **, Васильев Ю.А.* , Аюпова Ф.С.*
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», * ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет» , ** ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет "МЭИ"»
+79603186310, timurashkina@mail.ru

В статье предлагается методика проведения экспериментальных исследований волоконно-оптического датчика давления аттенуаторно-отражательного типа, ранее разработанного авторами для измерения давления языка на нёбо. Методика включает процедуру градуировки датчика и методику определения функции влияния температуры, с помощью которой добиваются снижения температурной погрешности, обусловленной температурой тела пациента.

Ключевые слова: методика, экспериментальное исследование, давление, волоконно-оптический датчик, челюстно-лицевая патология, язык, градуировочная характеристика, функция влияния, температура

Experimental research methodology fiber optic tongue pressure sensor on the palate. Murashkina T.I., Badeeva E.A., Arutyunov A.V.*, Istomina T.V. **, Vasilev Yu.A.*, Ayupova F.S.*, Penza State University, * Kuban State Medical University, ** National Research University "MEI"

The article proposes a methodology for conducting experimental studies of a fiber-optic pressure sensor of an attenuator-reflective type, previously developed by the authors to measure the pressure of the tongue on the palate. The technique includes a sensor calibration procedure and a method for determining the temperature influence function, with the help of which a reduction in the temperature error due to the patient's body temperature is achieved.

Keywords: methodology, experimental study, pressure, fiber-optic sensor, maxillofacial pathology, language, calibration characteristic, influence function, temperature

Введение

Диагностика заболеваний, связанных с различными аномалиями ротовой полости, с врожденными расщелинами верхней губы и неба, должна проводиться с применением соответствующего медицинского диагностического оборудования [1,2,3]. В работах [2,4,5] для повышения достоверности и безопасности процедуры диагностирования различных отклонений в полости рта предложена волоконно-оптическая диагностическая система на основе применения волоконно-оптического датчика давления (ВОДД) изгибного типа. Датчик имеет закрытый оптический канал, в котором под действием давления языка пациента на нёбо ротовой полости оптическое волокно испытывает изгибные воздействия, что приводит к изменению интенсивности оптического сигнала, передаваемого по волокну,