



УДК 534.836.2

Бубнов Евгений Яковлевич, доцент, к.т.н., доцент кафедры физики ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Волжский государственный университет водного транспорта»
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

ОСОБЕННОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ ШИРОКОПОЛОСНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ

Ключевые слова: преломление звука в грунт, сплошной спектр акустического сигнала, преломленный сейсмический сигнал, частотная характеристика преломления, зависимость от угла падения.

Аннотация. В докладе проведены экспериментальные исследования преломления широкополосных акустических волн в сейсмические. В качестве акустического излучателя используются звуковой сигнал движущегося реактивного самолета. Анализируются особенности спектра сейсмического сигнала по сравнению с исходным акустическим спектром в зависимости от угла падения акустической волны.

Настоящий доклад представляет собой продолжение работы [1], в которой исследуются особенности трансформации низкочастотного гармонического акустического сигнала, создаваемого движущимся вертолетом, в сейсмический сигнал. Основной результат работы заключается в том, что вибрационный сигнал в твердой среде представляет собой совокупность нескольких близко расположенных гармоник. Их происхождение объясняется преломлением акустической волны в точке расположения сейсмического датчика и, кроме того, генерацией продольной и поперечной волн в грунте, происходящим под углами полного внутреннего отражения. Так как скорости распространения этих волн различаются, то это вызывает различный доплеровский сдвиг частоты, который и фиксируется в эксперименте.

Использование широкополосного акустического сигнала в задачах изучения трансформации звука в грунт позволяет расширить теоретические и экспериментальные знания об особенностях перехода упругих волн из газообразной среды в твердую [2-5]. Эта информация может иметь важное значение в прикладных задачах разведочной сейсмологии. В качестве источника акустического звука используется излучение турбореактивного двигателя стационарного и движущегося самолета.

Прием акустических сигналов проводился конденсаторным микрофоном МК - 102, в диапазоне частот 10 Гц– 20 кГц, для приема вибрационных сигналов применялись датчики скорости смещения СВ – 10Ц в диапазоне частот 10 - 100 Гц. Приемники располагались в одной точке. Сигналы записывались на многоканальный аналоговый магнитограф НО 48 и обрабатывались на персональном компьютере.

Рассмотрим вначале случай пролетающего над датчиками реактивного самолета, когда происходит перпендикулярное к грунту падение акустической волны. На рис. 1 приведены, соответственно, осциллограммы акустического (кривая 1) и сейсмического (кривая 2) сигнала пролетающего самолета в указанной выше полосе частот.

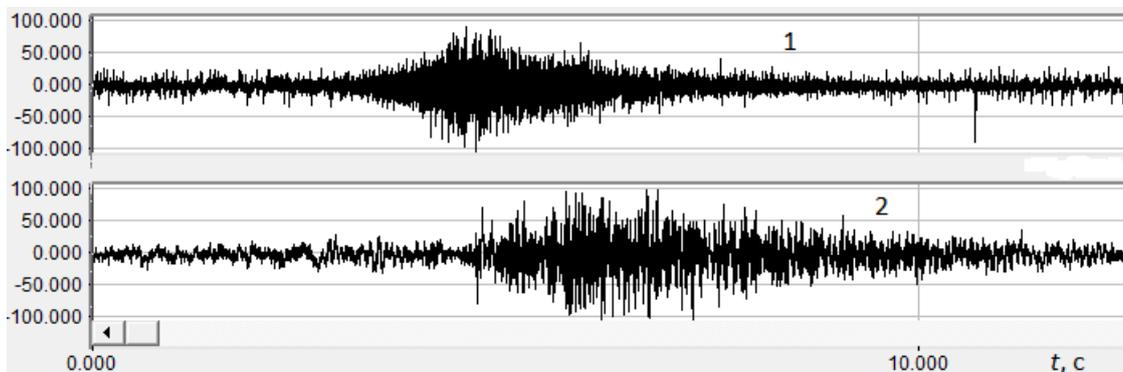


Рис. 1. Осциллограммы акустического (кривая 1) и сейсмического (кривая 2) сигналов пролетающего на высоте $h = 100$ м турбореактивного самолета

Анализ кривых показывает отличие между собой акустических и сейсмических осциллограмм, выражающихся как в наличие сдвига максимумов сигналов, так и в их временном виде. Первое отличие может быть вызвано зависимостью амплитуды сейсмических колебаний от угла падения акустической волны, а второе различие осциллограмм может быть связано с условиями возбуждения и распространения вибрационных волн в грунте. Для выяснения конкретных причин различия на рис. 2 и 3 представлены соответственно спектры акустических и сейсмических сигналов самолета в полосе частот 1-100 Гц, при этом обрабатывалась временная реализация соответствующая максимальным значения сигнала.

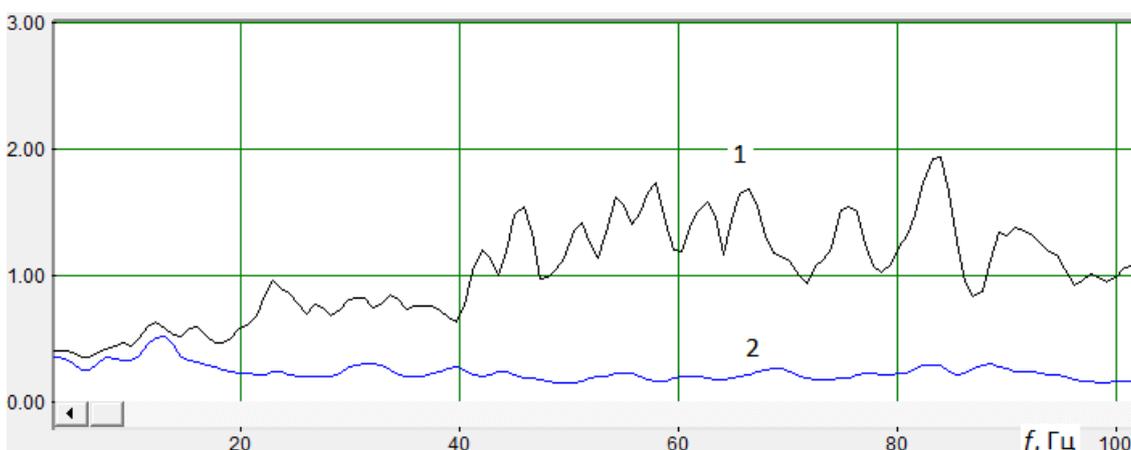


Рис.2. Амплитудные спектры акустического сигнала пролетающего на высоте $h = 100$ м самолета (кривая 1) и окружающих шумов (кривая 2). Полоса частот 3-100 Гц, разрешение 0,8 Гц

Исходный амплитудный спектр (кривая 1) звукового сигнала является сплошным и неравномерным со слабовыраженным максимумом в полосе частот 40 - 80 Гц. Для сравнения на этом же рисунке представлена кривая 2, представляющая сумму окружающих и электрических шумов. Заметно, что в диапазоне частот 15- 100 Гц наблюдается существенное превышение полезного сигнала над шумом.

Приведенный на рис. 3 амплитудный спектр сейсмического сигнала пролетающего самолета имеет несколько другой вид.

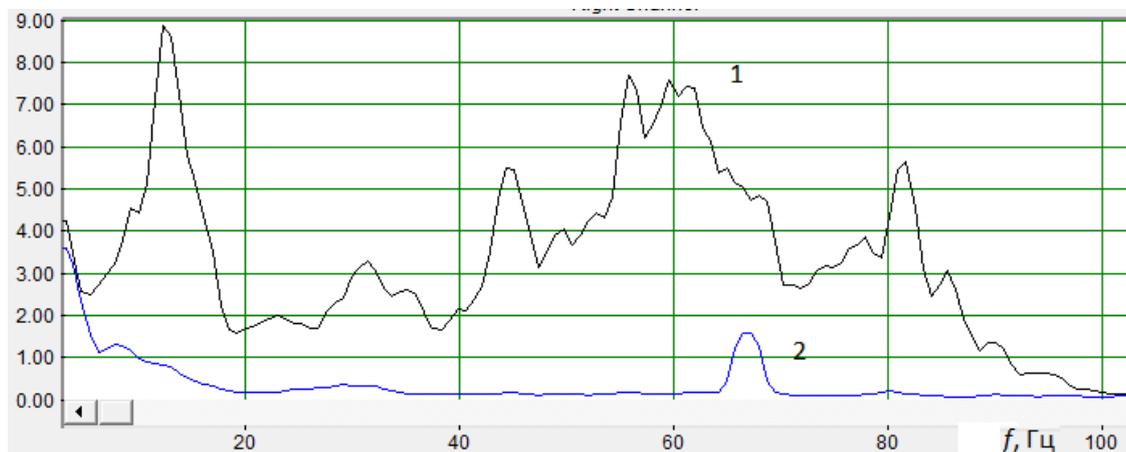


Рис.3. Амплитудные спектры сейсмического сигнала пролетающего на высоте $h = 100$ м самолета (кривая 1) и окружающих шумов (кривая 2). Полоса частот 3-100 Гц, разрешение 0,8 Гц

Анализ спектральной кривой сейсмического сигнала показывает большую изменчивость по сравнению с исходным спектром акустического сигнала. В частности, преобладает существенный по амплитуде спектральный максимум в окрестности частоты 12 Гц. Кроме того, в полосе частот 40-80 Гц спектр сейсмического сигнала изрезан в большей степени, чем спектр акустического сигнала. Одним из возможных объяснений такому различию является влияние слоистости грунта, которая приводит к появлению резонансных структур в твердой среде и соответственно подчеркиванию определенных спектральных компонент в вибрационном сигнале.

Рассмотрим теперь случай наклонного падения акустического сигнала турбореактивного самолета, когда объект находится в режиме взлета. Расстояние до источника равно 1000 м. Ограничимся анализом только сейсмических волн. Соответствующая этому варианту осциллограмма сейсмического сигнала приведена на рис 4.

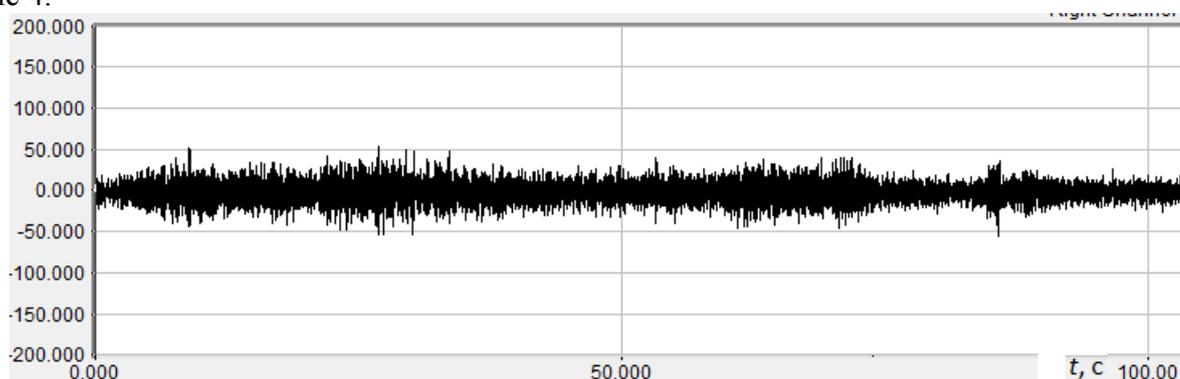


Рис. 4. Осциллограмма сейсмического сигнала взлетающего турбореактивного самолета. Расстояние до источника 1000 м

Для данной временной реализации вычислен амплитудный спектр сейсмического сигнала, который представлен на рис. 5. Отмечается существенная трансформация спектра сейсмического сигнала для этого режима по сравнению со спектром сейсмического сигнала пролетающего самолета. Практически вся энергия сигнала сосредоточивается в окрестности пика на частоте 12 Гц. Таким образом, вид спектра сейсмического сигнала зависит не только от характеристик твердой среды, но и от угла падения акустической волны.

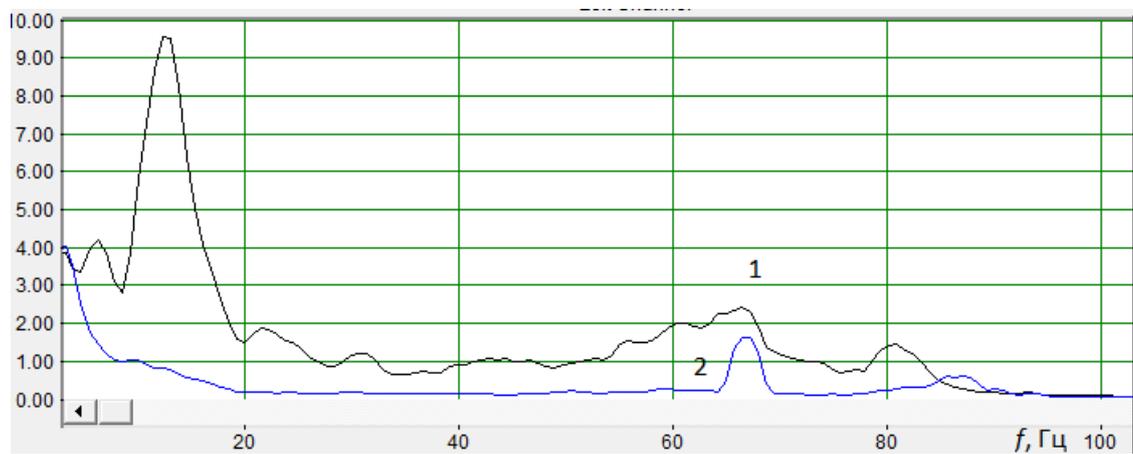


Рис.5. Амплитудные спектры сейсмического сигнала взлетающего самолета (кривая 1) и окружающих шумов (кривая 2). Полоса частот 3-100 Гц, разрешение 0,8 Гц

Таким образом, в работе проведены экспериментальные измерения трансформации широкополосных акустических сигналов в сейсмические сигналы в зависимости от угла падения звуковой волны. Получено anomalous изменение спектральных характеристик сейсмического сигнала по сравнению со спектром исходного акустического сигнала.

Список литературы

1. Бубнов Е. Я. Особенности трансформации низкочастотных акустических волн в сейсмические. Труды 21 Международного научно-промышленного форума «Великие реки-2019» Н.Новгород: изд-во ФБГОУ ВО «ВГУВТ», 2020. - вып. 8– режим доступа: <http://вф-река-море.рф/>
2. Бубнов Е.Я., Гушин В.В., Чернов В.В. Эффект Доплера при исследовании волновой структуры сейсмического поля, возбуждаемого движущимся источником / Материалы Международной научно-технической конференции/ Информационные системы и технологии т. 3, Новосибирск. 2000. – С 569-572.
3. Бубнов Е.Я., Гушин В.В. 2. Упругие поля, создаваемые воздушным транспортом при пролете Материалы 19 сессии Российского. акустического общества: в 3 т. – Н.Новгород, 2007. – Т. 3. – С.297 – 299.
4. Бреховских А.М. Волны в слоистых средах: учеб. пособие / А.М. Бреховских. – Издательство АН СССР, 1957. – 502 с.
5. Исакович М.А. Общая акустика : учеб. пособие / М.А. Исакович. – М.: Издательство Наука, 1973. – 496 с.

UDC 534.836.2

FEATURES OF TRANSFORMATION OF BROADBAND ACOUSTIC WAVES TO SEISMIC WAVES.

Evgeny Ya. Bubnov

Key words: refraction of sound into the ground, a continuous spectrum of the acoustic signal, refracted seismic signal, frequency characteristic of refraction, dependence on the angle of incidence.

Abstract: The report carried out experimental studies of the refraction of broadband acoustic waves into seismic waves. A sound signal of a moving jet aircraft is used as an acoustic emitter. The characteristics of the spectrum of the seismic signal are analyzed in comparison with the initial acoustic spectrum depending on the angle of incidence of the acoustic wave.