

Е.Я. Бубнов
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»
В.В. Гуцин
ФГБНУ «НИРФИ»

ВОЛНОВАЯ СТРУКТУРА СЕЙСМИЧЕСКОГО ПОЛЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА В ДАЛЬНОЙ ЗОНЕ

Введение

Движущийся железнодорожный состав представляет собой сложный, распределенный по пространству интенсивный излучатель как сейсмических, так и акустических волн [1–3]. Сопровождающие движение железнодорожного состава сейсмические волны несут информацию как о самом излучателе, так и о среде распространения.

Таким образом, исследования волновых характеристик упругих полей поезда, может очертить круг практических задач, таких как использование железнодорожного транспорта в качестве генератора объемных упругих волн для решения задач сейсмической разведки, оценки воздействия на нефтяные и газовые пласты, для мониторинга состояния среды и т.д.

Исследования упругих полей железнодорожного транспорта, представленные в работах [1–3], выполнены, как правило, для ближней зоны такого источника. В этой зоне волновое поле не сформировано и представляет собой сложную интерференционную картину, обусловленную наложением волн различной природы (поверхностных, объемных, сдвиговых).

В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований характеристик упругих полей в дальней зоне ($r \gg L^2/\lambda$).

Основная часть

Схема эксперимента приведена на рис 1. Регистрация сейсмических полей осуществлялась линейной антенной, состоящей из сейсмических датчиков типа СМ–3, в диапазоне частот 0,5–100 Гц. Первый приемник находится приблизительно на расстоянии 1000 м от железнодорожных путей. Шаг дискретизации линейной решетки составляет 10 м, число элементов в решетке 12. Сигналы с датчиков антенны после усиления регистрировались на 14-канальном аналоговом магнитографе НО–68. Железнодорожный путь в месте проведения эксперимента представляет собой бесстыковое соединение рельсов длиной 500–700 м, между которыми для компенсации температурного изменения длины рельсов вставляются 3–4 рельса длиной 12,5 м. Линия расположения датчиков проходит перпендикулярно к железнодорожной колее и пересекает ее приблизительно в окрестности компенсирующего участка пути. В работе [2] показано, что доминирующее сейсмическое поле поезда создается за счет взаимодействия движущегося состава с регулярными (стыки рельс) неровностями железнодорожного полотна, следовательно, эффективный размер такого источника составляет 40–50 м.

Методика проведения эксперимента предусматривала регистрацию сейсмических сигналов проходящего пассажирского и грузового железнодорожного транспорта. Последующая обработка сигналов проводилась на персональном компьютере с использованием специально разработанной программы.

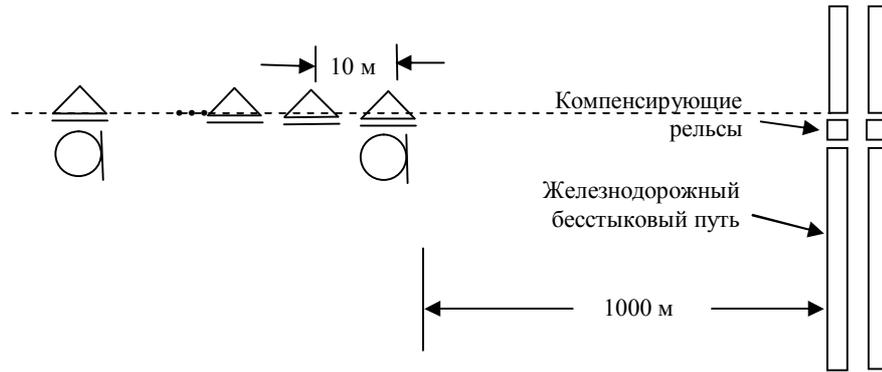


Рис. 1. Схема эксперимента по регистрации сейсмических и акустических сигналов железнодорожного транспорта

На рис. 2 в качестве примера представлены реализации амплитудного спектра сейсмического сигнала грузового поезда в диапазоне частот 0,5–50 Гц, соответственно на расстояниях 50 м от трассы движения (кривая 1) и 1000 м (кривая 2).

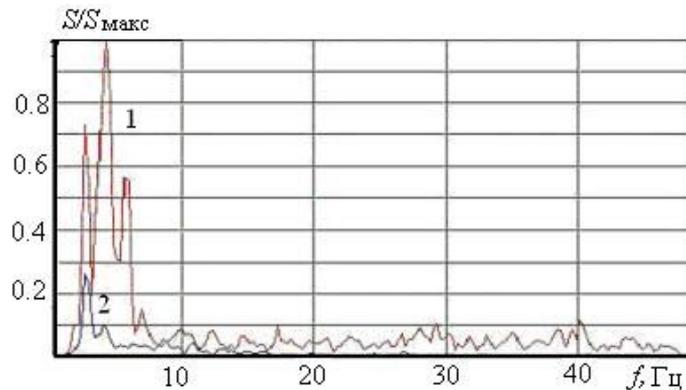


Рис. 2. Амплитудный спектр сейсмического сигнала грузового поезда в полосе частот 0,5–50 Гц. Кривая 1 – расстояние 50 м, кривая 2 – расстояние 1000 м, масштаб линейный

В спектре сейсмического сигнала, зафиксированного на расстоянии 50 м, наблюдаются дискретные составляющие на частотах 2,3 Гц, 3,8 Гц и 5,7 Гц, из которых при удалении антенны до расстояния 1000 м от железнодорожной колеи в спектре остается только компонента 2,3 Гц. Частота данной гармоники сигнала близка к резонансной частоте колебаний вагона на упругости подвески [4]. Что касается дискретных составляющих на незвидистантных частотах 3,8 и 5,7 Гц, то их появление, по всей видимости, вызвано периодическим ударным процессом колес тележек по стыкам рельс. Действительно, при средней скорости движения состава 90 км/ч и расстоянии между тележками 7 м, (полувагон, платформа) основная частота гармоники ударов составляет 3,5 Гц.

Наличие в эксперименте антенной решетки позволяет оценить волновую структуру сейсмического поля. С этой целью была выполнена взаимная корреляционная обработка сейсмического сигнала, зарегистрированного в первой точке с сигналами с датчиками в последующих точках. Результаты такой обработки приведены на рис. 3, где по оси ординат отложены значения ненормированной функции взаимной корреляции, а по оси абсцисс время задержки в секундах.

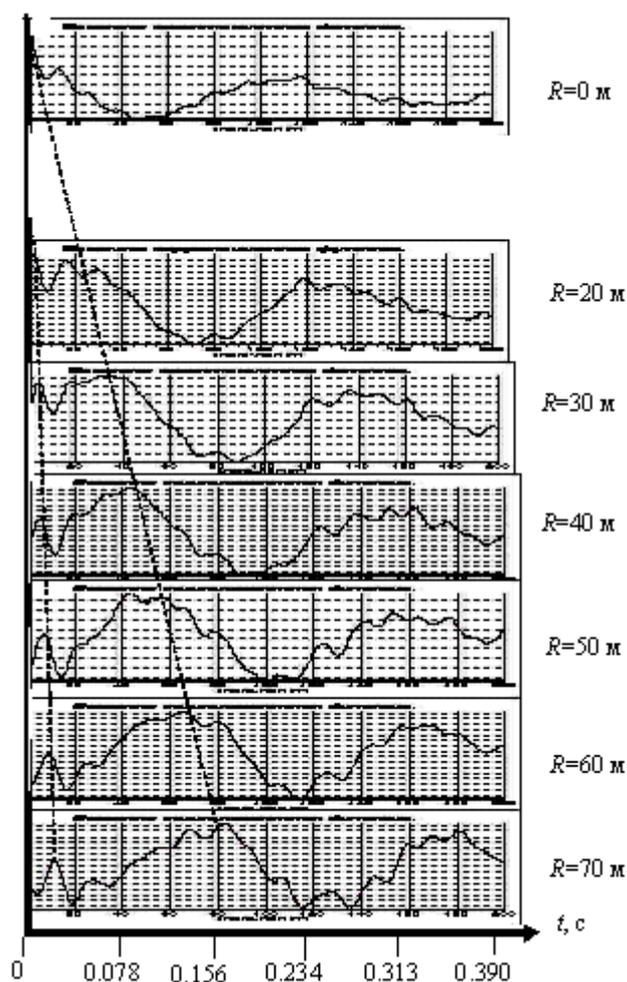


Рис. 3. Суммарная взаимная корреляционная функция сейсмических сигналов поезда

Время получения корреляционной функции выбиралось равным 4 сек, что примерно соответствовало минимальной величине временного интервала изменения уровня сейсмического сигнала. Время задержки сигналов ограничивалось величиной 0,4 с. На суммарной взаимно корреляционной функции наблюдаются две линии годографа, соответствующие первому вступлению двух цугов волн. Первую группу волн, распространяющуюся со скоростью 2500–2800 м/с, можно отождествить с объемными (отраженными или головными) волнами. Характерная полоса частот, занимаемая этой группой волн, составляет 20–30 Гц. Вторую группу волн, скорость распространения которой составляет 300–400 м/с, можно отнести либо к модам поверхностной волны, либо волнам, вызванных проникновением акустической волны в грунт в точке расположения сейсмических датчиков. Спектр этой группы сейсмических волн имеет узкополосный характер, с доминирующей частотой 2 Гц, что близко к резонансной частоте колебаний вагона на подвеске.

Заключение

Проведен анализ спектральных и волновых характеристик упругих сигналов поезда, зарегистрированных в ближней и дальней зонах. В спектре сейсмического сиг-

нала поезда на удалении 1000 м присутствуют интенсивные по амплитуде низкочастотные гармоники, представляющие собой или моду поверхностной волны, либо преломленную в грунт в точке расположения сейсмического датчика акустическую волну. Кроме того, как показывает корреляционный анализ, в дальней зоне наблюдаются меньшие по амплитуде высокоскоростные объемные волны, захватывающие глубокие слои грунта. Этот экспериментальный факт дает основание к разработке механизма воздействия упругих полей поезда на увеличение отдачи малодебетными нефтяными скважинами.

Список литературы:

- [1] Bubnov E.Ya. Experimental Study of Several Mechanisms of Generation of Seismic Vibrations by Trains / E.Ya. Bubnov, V.V. Gushchin // 7th International Symposium Transport Noise and Vibration – St. Petersburg, 2004. – p. 11.
- [2] Экспериментальные исследования структуры упругих полей железнодорожного состава в волновой зоне / Бубнов Е.Я., Гущин В.В. // Труды 9 Научной конференции по радиофизике. Н.Новгород, НГУ. 2005. – С. 233–235.
- [3] Бубнов Е.Я. Экспериментальные исследования упругих полей движущегося железнодорожного состава / Бубнов Е.Я., Гущин В.В. // Труды Конгресса 11 Международного научно-промышленного форума «Великие реки – 2009». – Н.Новгород, 2009. – С. 535–537.
- [4] Вершинский С.В. –Динамика вагона: учебник для вузов ж.-д. транспорта: / С.В. Вершинский, В.Н. Данилов, И.И. Челноков. – М.: Транспорт, 1978. – 352 с.

Ф.И. Выборнов, Д.С. Котик, А.В. Першин, А.В. Рахлин
ФГБНУ «НИРФИ»

НАБЛЮДЕНИЕ F-SPREAD В СРЕДНЕШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИОНОЗОНДА CAOI

При воздействии мощным радиоизлучением на ионосферную плазму вследствие большого разнообразия физических условий в ионосфере наблюдается развитие широкого спектра явлений, к которым в первую очередь следует отнести явление искусственной диффузности (ИД) или искусственный F-spread.

Впервые ИД была обнаружена в начале 70-х годов прошлого столетия в экспериментах по искусственной модификации ионосферы в Боулдаре (США) [1] и независимо в Горьком в НИРФИ (Зименки) [2]. Эксперименты показали, что ИД легко создается в дневной ионосфере, а ее характеристики внешне очень похожи на естественный F-spread, хотя в естественных условиях диффузность отраженных сигналов имеет место в ночное время, обычно после полуночи [3]. Времена развития и релаксации ИД в дневных условиях составляли (7–10) минут, в ночных – время релаксации было существенно больше, достигая десятков минут. В слое F1 ионосферы ИД исчезает быстрее, чем в слое F2. При воздействии на слой F2 диффузность сначала развивается на частотах, близких к частоте волны накачки (ВН), быстро захватывая всю верхнюю часть ионограммы и постепенно опускаясь в область более низких частот. ИД в F-слое возникает как при воздействии радиоизлучением «О»-поляризации, так и «Х»-поляризации, однако в последнем случае наблюдаются существенные отличия в характере и временных параметрах ИД.

Результаты специальных экспериментов

С середины 80-х годов экспериментальные исследования ИД были продолжены