

УДК 550.834.05

Техногенные помехи как источник сейсмических колебаний

■ Ягудин И.Р., Гафаров Р.М., Сираев И.А., АО «Башнефтегеофизика», г. Уфа.

Аннотация. Исследована возможность использования техногенных помех от движущегося транспортного средства в качестве пассивного источника сейсмических колебаний при работах методом МОГТ-2D. На основе непрерывной регистрации и кросскорреляционной обработки восстановлены волновые поля, содержащие поверхностные и отражённые волны. Сопоставление с данными импульсного источника КЭМ подтвердило возможность выделения отражающего горизонта и построения временного разреза. Показана перспективность применения пассивных источников на участках, где использование активных источников затруднено или невозможно.

Ключевые слова: техногенные помехи; пассивная сейсморазведка; сейсмическая интерферометрия; кросскорреляционная обработка; МОГТ-2D; отражённые волны; сейсмические колебания.

Введение

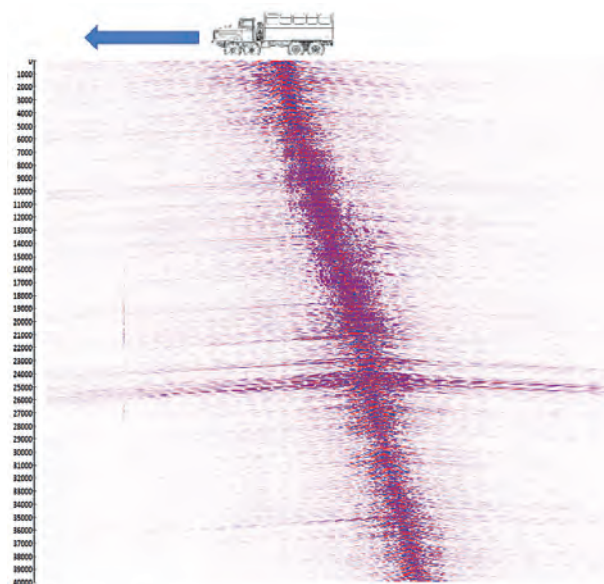
Развитие вычислительных мощностей современных компьютерных систем и совершенствование беспроводных регистрирующих приборов создают предпосылки для рассмотрения пассивных источников возбуждения упругих колебаний в качестве метода расширения объёма получаемой сейсмической информации, в том числе на участках, где ранее её регистрация была технически затруднена или невозможна.

На сегодняшний день применение пассивных методов возбуждения ограничивается преимущественно задачами микросейсмического мониторинга и пассивного метода поверхностных волн (MASW), тогда как их использование для стандартных работ методикой МОГТ остаётся малоизученным. В настоящей работе представлены результаты экспериментального исследования применимости пассивного источника возбуждения для проведения сейсморазведочных работ методом МОГТ-2D. В качестве источника возбуждения упругих колебаний использовалось транспортное средство УРАЛ, генерирующее импульсное воздействие в процессе движения по профилю.

Опытные работы

Для опытных работ разматывали 2D профиль, протяженностью 1 км. Шаг между пунктами приема (ПП) составлял 2 м, регистрация происходила двухприборными каналами Solo(5Гц). Расположение пунктов возбуждения (ПВ) и пунктов приема (ПП) совпадало. Всего количество пассивных ПВ по профилю составило 500 шт. Непрерывная регистрация велась около 4 ч. Автомобиль двигался вдоль опытного профиля с постоянной скоростью (рис.1).

▼ Рис. 1. Волновое поле при движении автомобиля по профилю с постоянной скоростью.





◀ Рис. 2.
Схема опытного
профиля и уста-
новка бревна.

Для усиления импульсного воздействия по профилю дороги использовали 4 заглублённых бревна (рис. 2). Их расположение соответствовало типовым неровностям покрытия, а контакт колёс с ними генерировал ударную нагрузку.

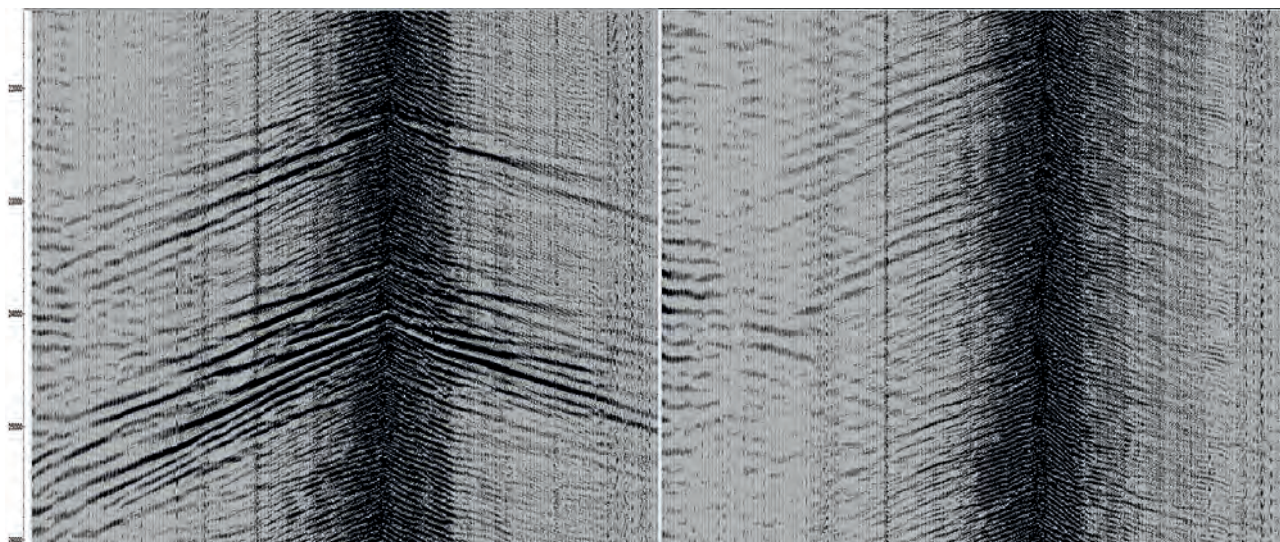
Формирование волновых полей

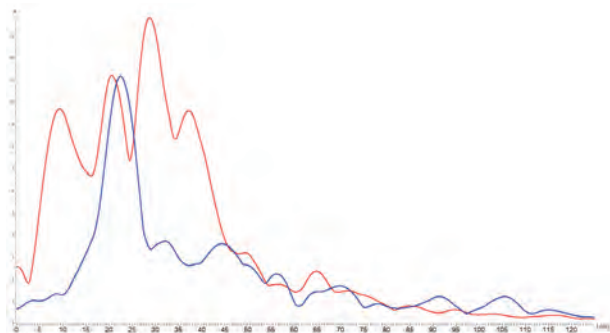
На рисунке 3 показаны характерные волновые поля, зарегистрированные при проезде автомобиля через бревно и движении его по участку без бревен. В момент удара передними и задними колесами формировался импульс, который визуально распространялся на всю приемную линию. Импульс, созданный движением автомобиля по дороге меж-

ду брёвнами, визуально проявляется слабее и зависит от степени неровности.

На рисунке 4 представлены характерные амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) сигналов, зарегистрированных от пассивных источников возбуждения, соответствующих двум режимам движения транспортного средства: удару колёс о препятствие (бревно) и проезду участка профиля без препятствий. Анализ полученных спектров показывает, что при импульсном ударном воздействии ширина спектра существенно превышает соответствующий показатель для сигнала, зарегистрированного при движении по ровному участку. При этом нижняя граница спектра импуль-

▼ Рис. 3. Слева волновое поле при проезде автомобиля через бревно. Справа волновое поле при движении по участку без бревен.





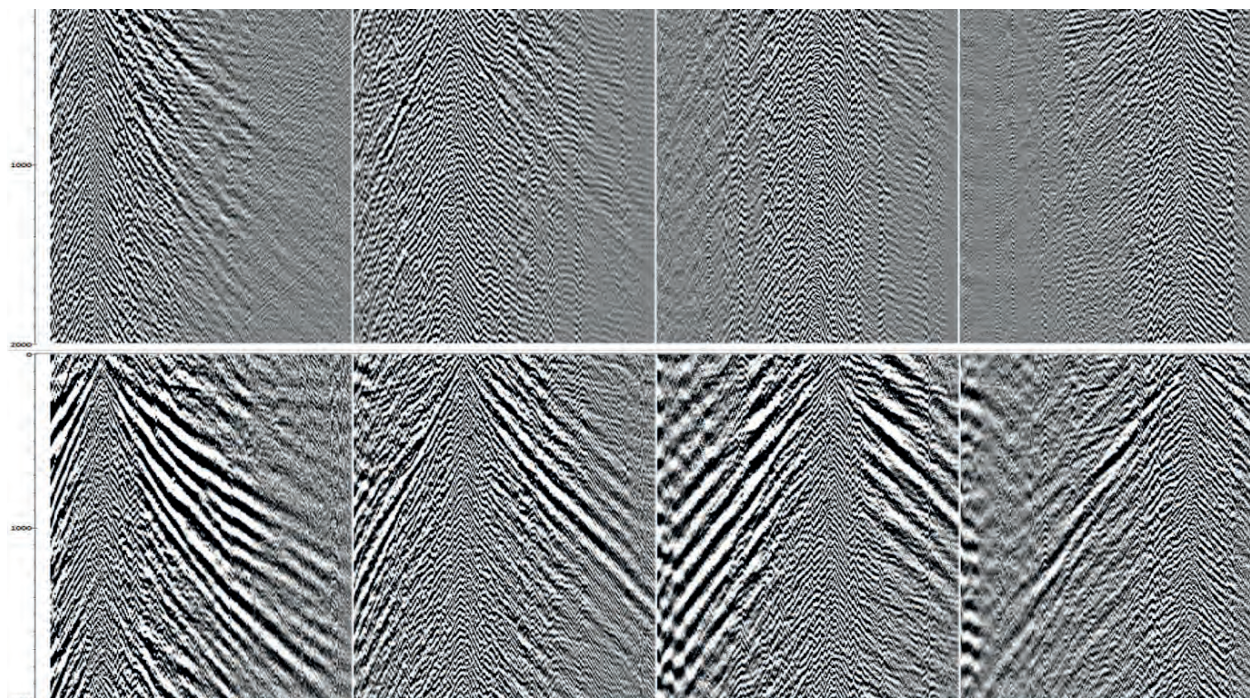
▲ Рис. 4. Красный график характеризует АЧХ сигнала при ударе о бревно. Синий график характеризует АЧХ сигнала при движении по ровному полю.

сного сигнала смещена в область более низких частот и составляет порядка 5 Гц, что свидетельствует о более широкополосном характере возбуждения при ударном взаимодействии по сравнению с колебаниями, генерируемыми при равномерном движении транспортного средства.

Для получения и последующего анализа волновых полей непрерывная запись разделили на временные интервалы продолжительностью 4 секунды. Из общего объема записи для дальнейшей обработки использовалось 30 минут

ввиду ограниченности доступных вычислительных ресурсов. На следующем этапе для каждого временного сегмента выполнена кросскорреляционная обработка волнового поля относительно сейсмической трассы, зарегистрированной приёмником, расположенным непосредственно на месте рассматриваемого пассивного ПВ. В результате для каждого пассивного ПВ получено 450 кросскорреляционных волновых полей. Таким образом, для каждого положения пассивного ПВ восстановлено волновое поле, характеризующее отклик среды на импульсный источник возбуждения. Полученный результат позволяет реконструировать функцию, описывающую распространение сейсмических волн между двумя приёмниками, без использования активных источников возбуждения, что соответствует методологии пассивной сейсмической интерферометрии. Характерные кросскорреляционные волновые поля, полученные в результате данной процедуры, представлены на рисунке 5.

▼ Рис. 5. Сверху показаны кросскорреляционные волновые поля при движении автомобиля через 4 ПВ без бревен. Снизу показаны кросскорреляционные волновые поля при движении автомобиля через 4 ПВ с бревном.



Анализ волнового поля

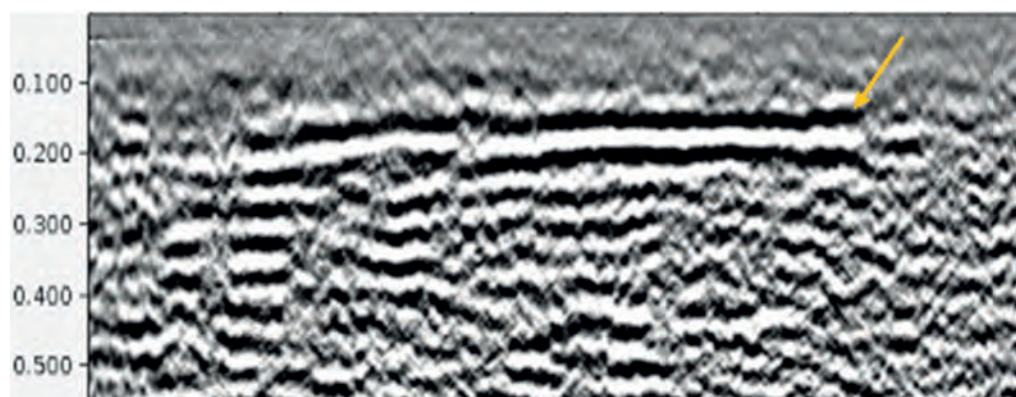
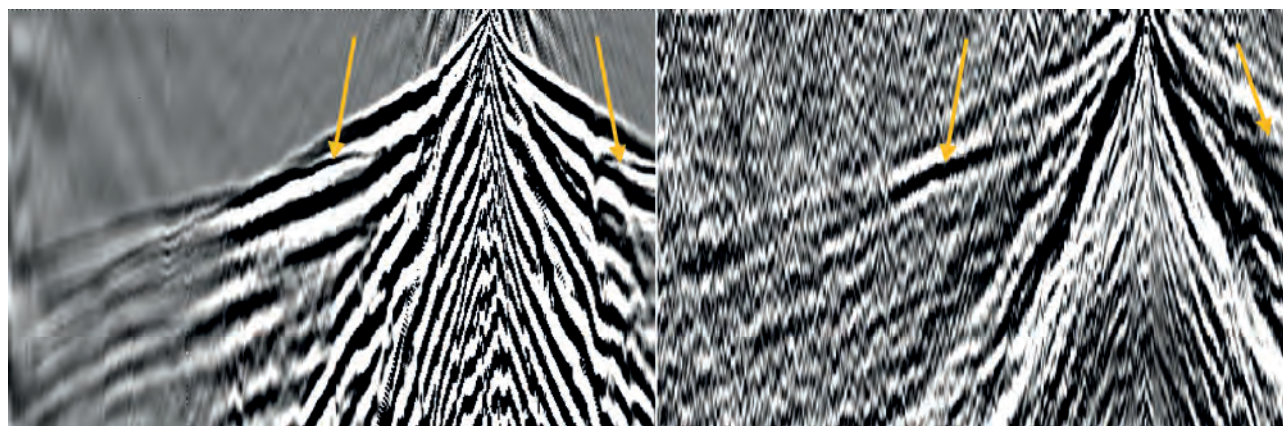
На одном из пунктов возбуждения (ПВ) выполнена регистрация с использованием колесного электромагнитного импульсного источника колебаний (КЭМ) при однократном накоплении сигнала. На том же ПВ получено кросскорреляционное волновое поле, сформированное при проезде автомобиля через бревно. Полученные волновые поля представлены на рисунке 6. Сопоставление указанных волновых полей позволило выделить годограф отражённой волны. Волновое поле, полученное от активного источника КЭМ, использовалось в качестве эталонного, поскольку на нём годограф отражённой волны прослеживался достаточно отчётливо. Для повышения чёткости выделения отражённой волны на волновом поле, полученном от пассивного источника, применены стандартные процедуры обработки сейсмических данных. В результате её выполнения

отражённая волна на кросскорреляционном волновом поле стала прослеживаться столь же отчётливо, как и на эталонном волновом поле от источника КЭМ. Полученный результат позволил предположить, что кросскорреляционные волновые поля содержат не только цуг поверхностных волн, но и информативные отражённые волны от неглубоко залегающих горизонтов. Данное предположение послужило основанием для построения временного разреза методом МОГТ-2D по совокупности полученных кросскорреляционных волновых полей.

По полученным волновым полям построен полевой временной разрез, представленный на рисунке 7. На временном разрезе, соответствующем данным от пассивного источника, отчётливо выделяется верхний отражающий горизонт.

Данный горизонт характеризуется преобладанием низкочастотной составляющей спектра, что обусловлено осо-

▼ Рис. 6. Стрелками показана отраженная волна. Слева волновое поле от импульсного источника КЭМ. Справа обработанное кросскорреляционное волновое поле от пассивного источника с бревном.



◀ Рис. 7. Временной разрез, полученный с использованием пассивного источника.

бенностями частотной характеристики излучаемого сигнала.

Выводы

Результаты, представленные в настоящей работе, расширяют существующие представления о пассивных источниках сейсмических колебаний и позволяют по-новому взглянуть на процесс получения полевого сейсмического материала.

Применение пассивных источников открывает возможности для проведения сейсморазведочных работ в зонах, где использование активных источников возбуждения — взрывных, вибрационных или импульсных источников достаточной энергии — затруднено или невозможно. При этом наличие в исследуемой зоне техногенных помех, обусловленных работой инженерных коммуникаций или движением автотранспорта, может рассматриваться не как ограничивающий фактор, а как дополнительный источник сейсмической информации. Следует также учитывать, что регистрация данных при использовании пассивных источников должна осуществляться в режиме непрерывного накопления. Это обуславливает необходимость применения беспроводных регистрирующих систем как наиболее целесообразного технического решения для организации полевых наблюдений. При этом снижение затрат, связанных с возбуждением упругих колебаний, сопровождается увеличением временных и вычислительных затрат на этапе обработки получаемых данных, что требует привлечения дополнительных ресурсов для их обработки.

Литература

1. Пассивная сейсмическая интерферометрия с применением DAS для картирования скоростных неоднородностей на аварийном участке Верхнекамского месторождения / А. В. Чугаев, М. В. Тарантин, С. К. Кирсанов // Инженерная и рудная геофизика 2026 / Инженерная и рудная геология 2026 : Сборник материалов научно-практической конференции и выставки, Санкт-Петербург, 20–23 апреля 2026 года. — Москва: ООО "Геомодель Развитие", 2026. — С. 343-346. — EDN QPLZWD.

2. Пассивный MASW / И. Р. Ягудин, Р. М. Гафаров, А. Р. Сахабутдинов // Санкт-Петербург 2026. Геонауки: от современных вызовов до решений, открывающих будущее: Сборник материалов 12-й международной геолого-геофизической конференции, Санкт-Петербург, 20–23 апреля 2026 года. — Москва: ООО "Геомодель Развитие", 2026. — С. 136-140. — EDN CCXYBU.