

Учет аппаратурных характеристик приема-передающего тракта и условий возбуждения при обработке данных вибросейсморазведки

■ Добровольская А.Е., МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва.

■ Коротков И.П., к.т.н., ООО «НПП «Спецгеофизика», МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва.

Аннотация: в статье демонстрируются теоретические основы, принципы конструирования и практические результаты применения обратного фильтра учета условий возбуждений и приема при обработке данных вибросейсморазведки с использованием сигналов обратной связи в частотной области на примере 2D данных Астраханского нефтегазоконденсатного месторождения.

Ключевые слова: вибрационная сейсморазведка (вибросейсморазведка), обработка сейсмических данных, учет условий возбуждения, учет условий приема.

Введение

Сегодня вибрационная сейсморазведка является наиболее распространенным методом поисковых работ на суше, поскольку к его достоинствам относятся возможность управления частотным составом и энергией колебаний. Поверхность земли часто меняется в процессе возбуждения колебаний посредством вибрационной установки, что существенно влияет на ее работу и получаемый результат. Для минимизации влияния этой особенности может быть применен способ учета условий приема и возбуждения.

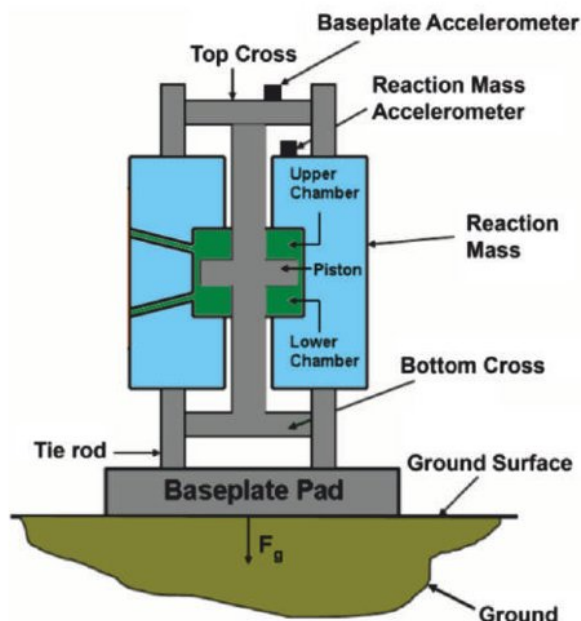
В общем сейсмический вибратор и грунт под ним можно представить моделью масса-пружина-демпфер, где реактивная масса воздействует на опорную плиту, контактирующую с грунтом. В процессе передачи свип-сигнала в грунт с помощью вибрационной установки регистрируется два сигнала: плиты и реактивной массы, по которым осуществляется управление виброисточником по принципу обратной связи. Точность управления виброисточником напрямую зависит от применяемой электроники. Современная электроника управления виброисточниками позволяет достичь такой точности управления, что сигналы обратной связи могут рассматриваться

как выходные характеристики линейной системы. В такой линейной системе возможно построение обратных фильтров, основанных на ее входных и выходных характеристиках.

Известно, что линейные системы могут описываться сверточной моделью, из которой можно получить обратные фильтры различного вида. Такие фильтры могут быть сконструированы в частотной области на основе измеренных спектральных характеристик сигналов опорной плиты и реактивной массы, которые несут в себе информацию об условиях возбуждения. Аналогично подобные фильтры могут быть составлены и на основе импульсно-частотной характеристики приемной группы, несущей в себе информацию об условиях приема. Применение подобных фильтров к вибрационным сейсмическим данным позволяет повысить разрешенность результатов временных разрезов.

Модель сейсмического вибратора и грунта под ним

В общем модель сейсмического вибратора и грунта под ним проиллюстрирована на Рис. 1, где Reaction Mass (M_{rm}) и Baseplate Pad (M_{bp}) представляют собой реактивную массу и массу опорной



▲ Рис. 1. Модель сейсмического вибратора и грунта под ним (Wei, 2009).

плиты соответственно. Reaction Mass Accelerometer (Arm) и Baseplate Accelerometer (Abp) – это измерители ускорений реакционной массы и опорной плиты соответственно. (Шнеерсон и др., 1990)

F_g представляет истинную силу вибратора на грунт (Ground Force, граундфорс). Данная величина оценивается с помощью метода взвешенной суммы, который, в свою очередь, основан на 2-м законе Ньютона. (Sallas, 1984) (Sallas, et al., 1982) Вычисления производятся путем суммирования сигналов ускорения от реактивной массы и опорной плиты, взвешенных по их соответствующим массам. При взвешенной сумме силы на грунт измеряются реактивная масса и ускорение опорной плиты. (Wei, и др., 2018) (Сянь-чжэн, и др., 2015). Так оценка силы вибратора на грунт представляется в виде:

$$-F_g \approx M_{rm}A_{rm} + M_{bp}A_{bp} \quad (1)$$

Точность обратной связи напрямую зависит от измерения датчиков – акселе-

рометров, установленных на основных узлах виброисточника, а также от устройства управления – контроллера. Современные системы управления виброисточниками обеспечивают высокую степень управляемости виброисточником по обратной связи, например, электронная система GSD-II. (Жуков, и др., 2013). Это в значительной мере сглаживает эффекты влияния контакта плита-грунт. Поэтому можно рассматривать сигналы обратной сейсмического вибратора с контроллером как линейную систему.

Линейные системы и сверточная модель

Используя сверточные модели, состоящие из входного сигнала, передаточной характеристики системы и выходной последовательности, можно хорошо описать линейные системы и, соответственно, вывести обратные фильтры различного вида. (Никитин, 1986). С помощью измеренных спектральных характеристик сигналов подобные фильтры можно составить в частотной области. (Коротков, и др., 2021). Для учета условий возбуждения были использованы спектральные характеристики сигналов пилотного свипа, реактивной массы и опорной плиты.

Будем считать, что сигнал опорной плиты является выходным и несет в себе информацию об условиях возбуждения, которые нужно будет скомпенсировать в последствии. В этом случае входными сигналами линейной системы могут считаться либо сигнал пилотного свипа, либо сигнал реактивной массы.

Пусть входным сигналом служит пилотный сигнал, так как именно он формирует задание на вибровоздействие.

Сверточная модель такой линейной

системы будет иметь следующий вид:

$$Sbp(t) = f(t) * Sp(t) \quad (2)$$

где $Sbp(t)$ – выходной сигнал с плиты, $f(t)$ – передаточная характеристика системы и $Sp(t)$ – входной сигнал пилотного свипа в зависимости от времени t . Входной сигнал передает системе задание на смещение плиты для совершения вибровоздействия, однако измеряемый выходной сигнал имеет размерность ускорения, так как регистрируется акселерометром. После приведения выходного сигнала к смещению формула (1) принимает вид:

$$\iint Sbp(t) = f(t) * Sp(t) \quad (3)$$

где двойное интегрирование в левой части означает переход от ускорения к смещению.

Пусть переходная характеристика системы $f(t)$ определяется только условиями возбуждения. После перехода в частотную область имеем:

$$Sbp(\omega)\omega^2 = F(\omega)Sp(\omega) \quad (4)$$

где $Sbp(\omega)$, $F(\omega)$ и $Sp(\omega)$ – спектральные характеристики выходного сигнала, условий возбуждения и пилотного сигнала соответственно в зависимости от частоты ω .

Обратный фильтр, учитывающий условия возбуждения, можно выразить как:

$$\frac{1}{F(\omega)} = \frac{Sp(\omega)}{Sbp(\omega)\omega^2} \quad (5)$$

Аналогичным образом может быть произведен учет характеристик приемопередающего тракта, основывающийся на искажениях полезного сигнала приемной линией.

Во время полевых работ проводятся периодические так называемые пульс-тесты, смысл которых заключается в измерении импульсно-частотной характеристики приемной группы, находящейся на пикете приема. Тест проводится путем посылки «идеального» сигнала – дельта импульса со станции на приемную группу и записи ее отклика. На основе этой записи можно сделать обратный фильтр условий приема, способствующий компенсации собственной частоты приемников (10 Гц), вида:

$$\frac{1}{F(\omega)} = \frac{1}{S\delta(\omega)} \quad (6)$$

где $F(\omega)$ и $S\delta(\omega)$ – спектральные характеристики функций условий приема и отклика приемной группы на дельта импульсный сигнал соответственно.

Фильтры подобного вида должны быть применены отдельно на каждом пункте возбуждения на основе индивидуального сигнала обратной связи от плиты.

Применение фильтров условий возбуждения и приема

Для учета условий возбуждения в программном обеспечении ProMAX 2D были составлен алгоритм обработки данных. Для создания фильтра условий возбуждения на вход подаются трассы пилотного свипа, сигнала плиты, реактивной массы и сигнала силы вибратора на грунт (граундфорса). (Рис. 2, Рис. 3) Фильтр условий возбуждения рассчитывается индивидуально для каждого пункта возбуждений из-за сильной изменчивости условий возбуждения. Различия условий возбуждения продемонстрированы на Рис. 4. В результате работы алгоритма обработки данных фильтр условий возбуждений представляется как трасса (Рис. 5) с амплитудно-

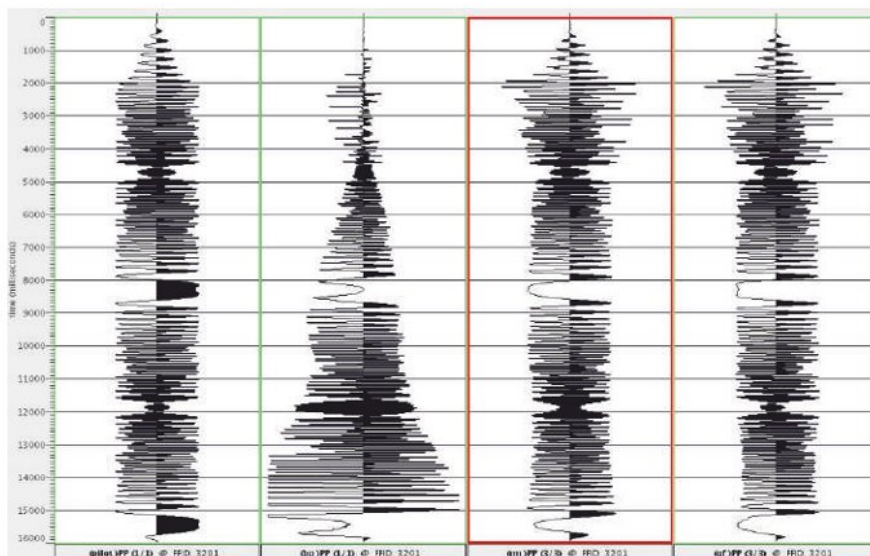


Рис. 2. Трассы входных сигналов (слева направо): пилотной свип, сигнал плиты, сигнал реактивной массы, сила вибратора на грунт (граундфорс).

Рис. 3. Амплитудно-частотные характеристики входных сигналов: черный - пилотной свип, красный - сигнал плиты, зеленый - сигнал реактивной массы; синий - сила вибратора на грунт (граундфорс).

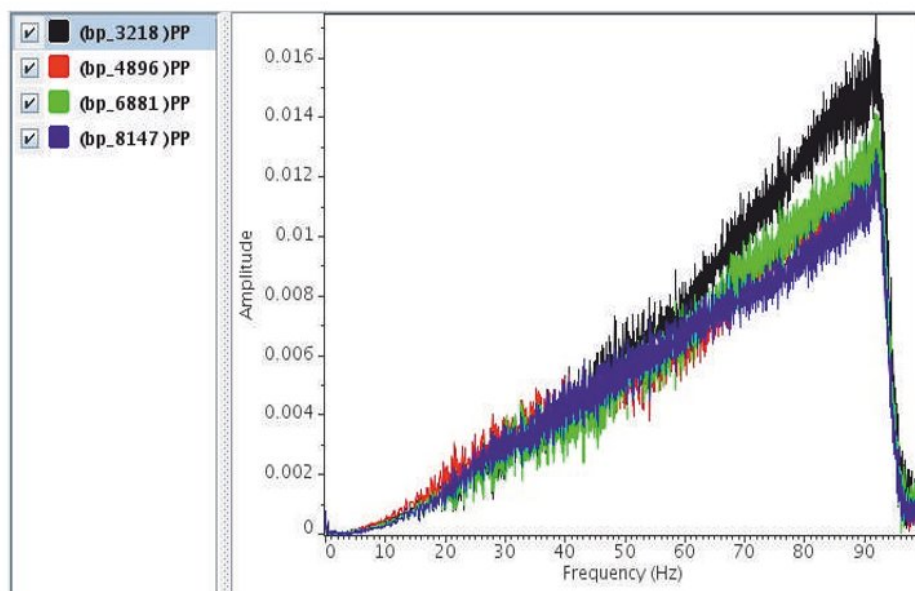
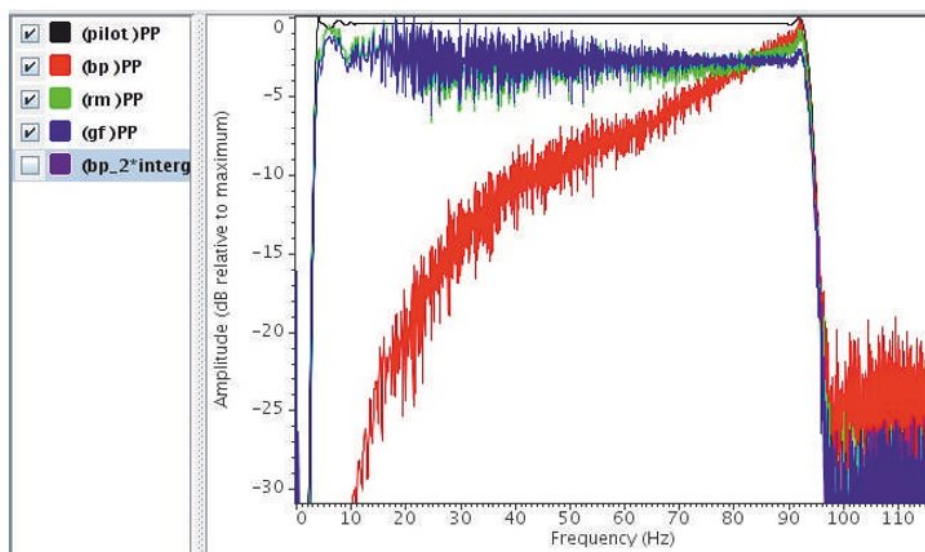
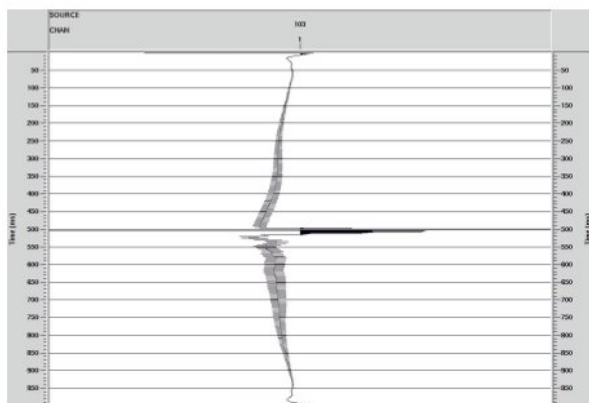


Рис. 4. Изменчивость условий возбуждения на примере амплитудно-частотных характеристик сигналов плиты на различных ПВ: черная – начальный ПВ, синяя – конечный ПВ, красная и зеленая – промежуточные ПВ.



▲ Рис. 5. Трасса фильтра условий возбуждения. частотной характеристикой (Рис. 6).

Для создания фильтра приемо-передающего тракта на вход потоку были поданы данные пульс-теста – пробного сигнала, подающегося со сейсмостанции на приемник (Рис. 6). После запуска алгоритма обработки данных фильтр приема представляется как трасса (Рис. 7) с амплитудно-частотной характеристикой, учитывающей собственную частоту приёмника. (Рис. 6).

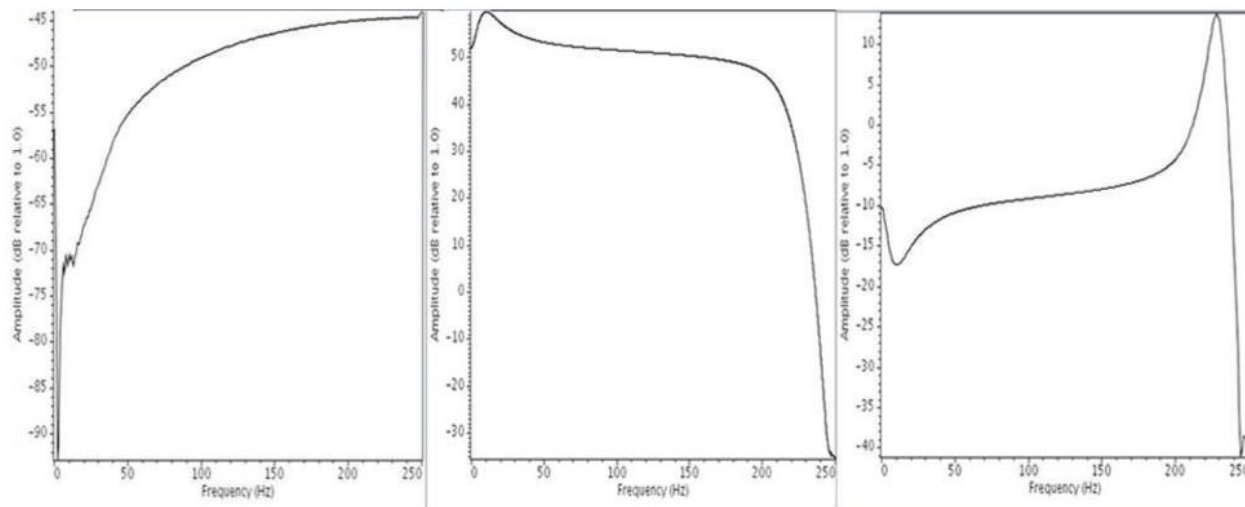
Результат применения фильтра условий возбуждения

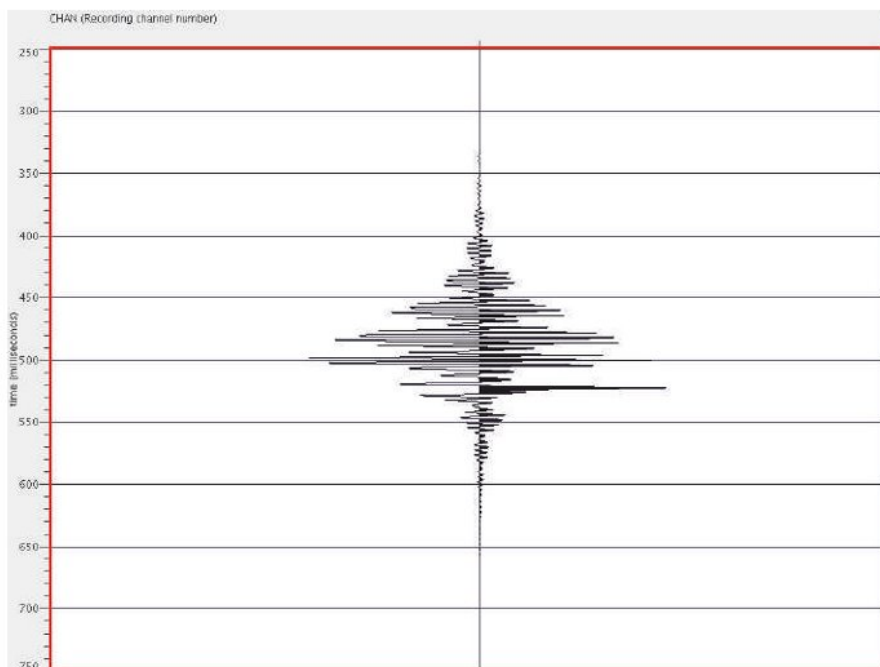
Эффективность фильтра условий возбуждения может быть наглядно проиллюстрирована на примере сейсморазведочных работ 2D ОГТ данных, полученных на Правобережном участке

залежи Астраханского месторождения с применением технологий адаптивной сейсморазведки и аппаратурой GSD-II. Ниже представлены изображения, полученные после обработки в программном обеспечении ProMAX 2D по алгоритму, описанному в предыдущем разделе статьи (Рис. 8, Рис. 9, Рис. 10, Рис. 11)

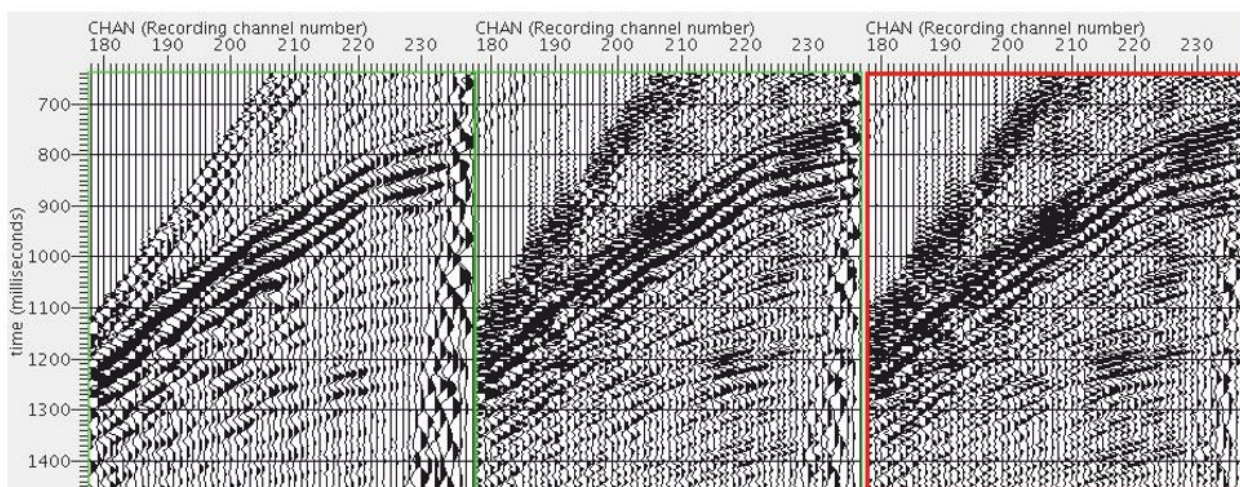
Как видно из изображений, на временных разрезах с учетом фильтров условий возбуждения и приёма по сравнению с временными разрезами без фильтров повышена вертикальная разрешающая способность за счет уменьшения амплитуд, а также повышена контрастность осей синфазности. После применения фильтра наблюдаются более четкие границы сейсмокомплексов и лучше прослеживается их структура: горизонтальная в верхней части разреза и наклонная в нижней. Устранены помехи за условия возбуждения и компенсированы приемные характеристики велосиметров. Значительно улучшены спектральные характеристика разреза. На амплитудно-частотных характеристиках наблюдается расширение спектра в область высоких частот и минимизация влияния собственных частот приемников.

▼ Рис. 6. Амплитудно-частотные характеристики (слева направо): фильтра условий возбуждения, фильтра пульс-теста, фильтра условий приема.

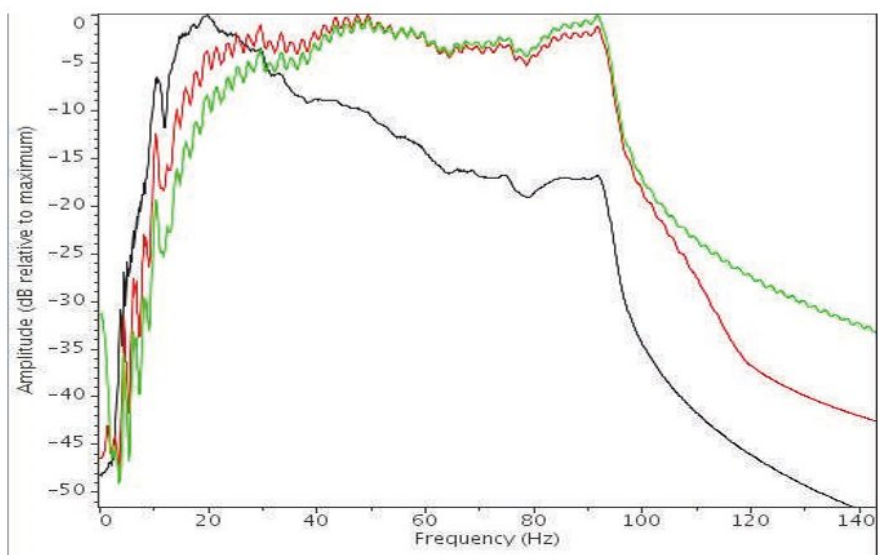




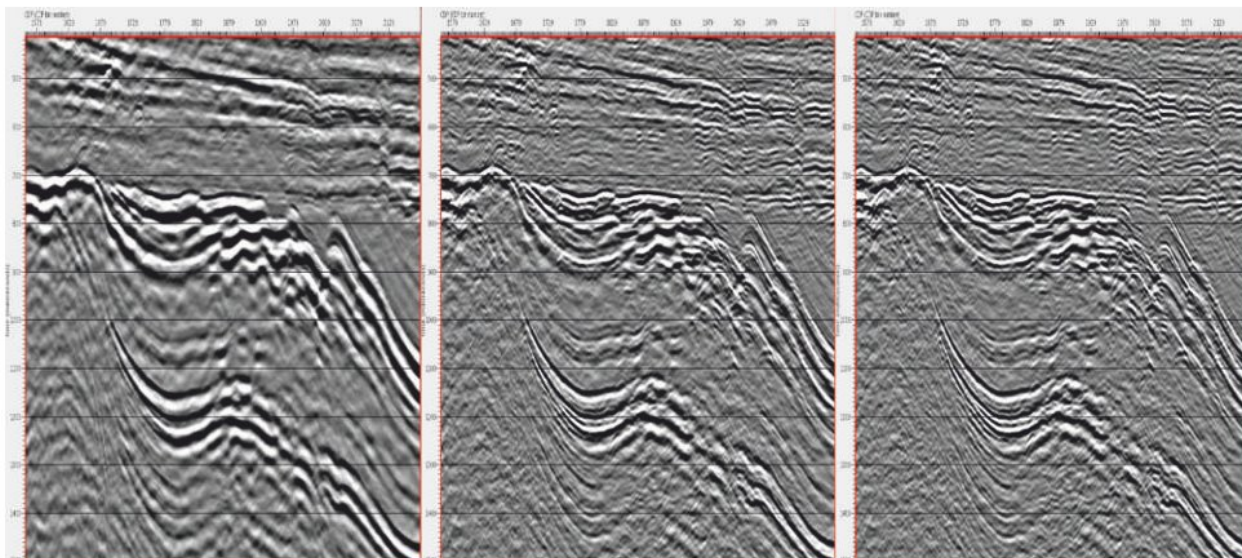
◀ Рис. 7. Результат применения фильтра условий возбуждения.



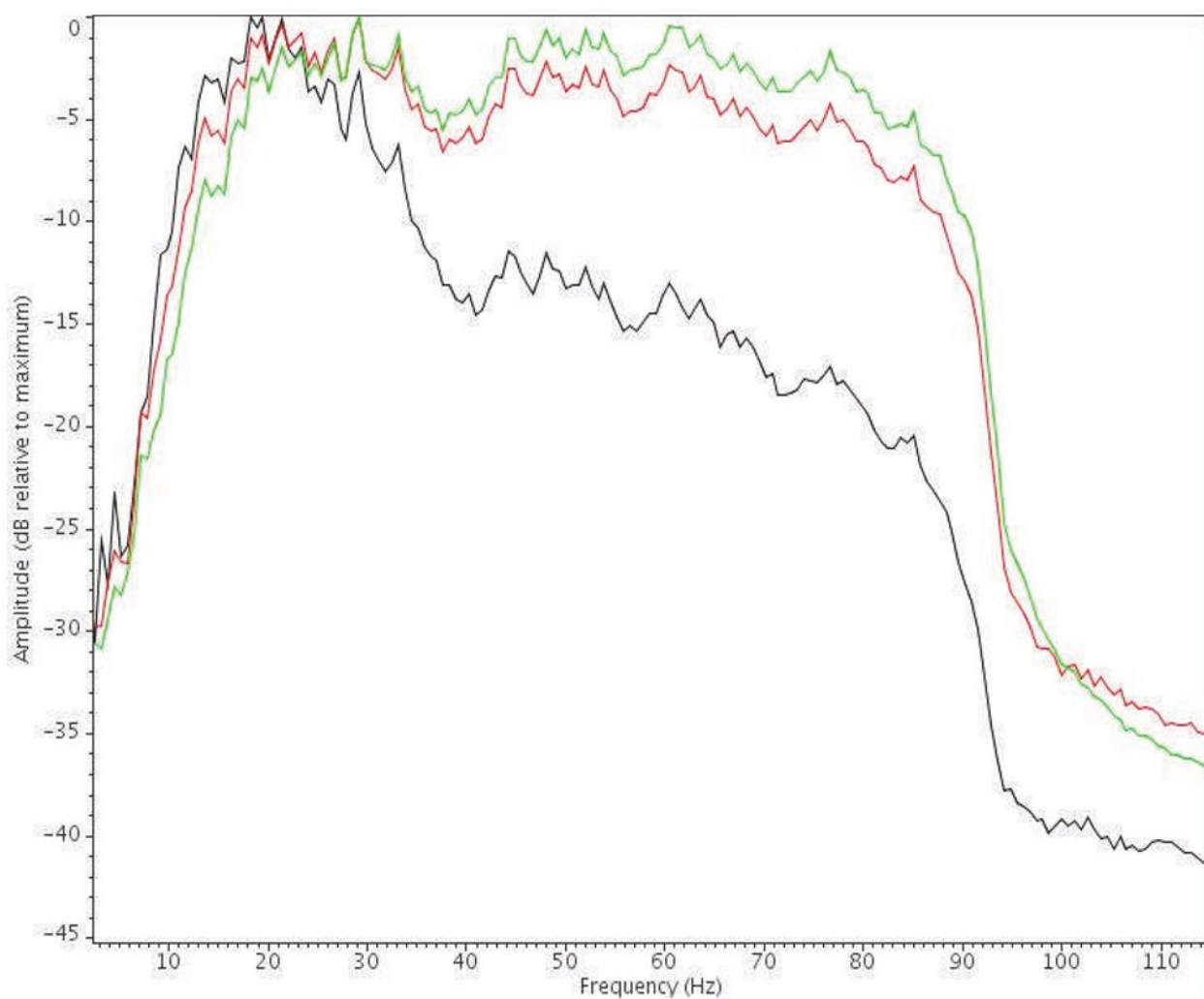
▲ Рис. 8. Сейсмограммы после обработки (слева направо): без учета фильтров; с учетом фильтра условий возбуждения; с учетом фильтров условий возбуждения и приема.



◀ Рис. 9. Амплитудно-частотные характеристики сейсмограмм после обработки: черная – без фильтров; красная – с учетом фильтром условий возбуждения; зеленая – с учетом фильтров условий возбуждения и приема.



▲ Рис. 10. Сейсмические временные разрезы (слева направо): без учета фильтров; с учетом фильтра условий возбуждения; с учетом фильтров условий возбуждения и приема.



▲ Рис. 11. Амплитудно-частотные характеристики сейсмических разрезов:
 черный – без фильтров;
 красный – с учетом фильтром условий возбуждения;
 зеленый – с учетом с учетом фильтров условий возбуждения и приема.

Заключение

Минимизация влияния фактора контакта плита-грунт путем применения обратных фильтров условий возбуждения и приема, основанных на сигналах обратной связи в частотной области, на начальной стадии обработки приводит к значительному повышению разрешённости получаемых временных разрезов: увеличена контрастность границ и вертикальная разрешающая способность.

Литература

1. Жуков, А. П. и Шнеерсон, М. Б. 2013. Современные технологии возбуждения сейсмических волн. Приборы и системы разведочной геофизики. 2013 г.
2. Коротков, И. П. и Жуков, А. П. 2021. Адаптивные технологии вибрационной сейсморазведки. Приборы и системы разведочной геофизики. 2021 г.
3. Никитин, А. А. 1986. Теоретические основы обработки геофизических сигналов. Москва : б.н., 1986.
4. Сянь-чжэн, Чжао, и др. 2015. Применение технологии адаптивной вибрационной сейсморазведки для получения. Технологии сейсморазведки. 2015 г.
5. Шнеерсон, М. Б., Потапов, О. А. и Гродзенский, В. А. 1990. Вибрационная сейсморазведка. Москва : "Недра", 1990.
6. Sallas, J. J. 1984. Seismic vibrator control and the downgoing P-wave. Geophysics. 1984 г.
7. Sallas, J. J. и Weber, R. 1982. Comments on «The amplitude and phase response of a seismic vibrator» . Geophysical Prospecting. 1982 г.
8. Wei, Zhouhong. 2009. How good is the weighted-sum estimate of the vibrator ground force? The Leading Edge. 2009 г.
9. Wei, Zhouhong, Fuhe, Liang и Yongsheng, Wu. 2018. Vibrator responses on different types of ground. CPS/SEG 2018 Beijing International Geophysical Conference. 2018 г.

Подробнее об авторах



Добровольская
Александра Егоровна

Магистрант
геологического ф-та
МГУ имени
М. В. Ломоносова



Коротков Илья Петрович

Сотрудник кафедры
сейсмометрии и геоакустики
геологического факультета
МГУ им. М.В. Ломоносова,

Главный геофизик ООО
"НПП "Спецгеофизика"