

P216

Using of Converted Shear Waves to Restore Normal Medium Reflectivity and to Increase Resolution of an Image

V.L. Eliseev* (GEOVERS Ltd.), A.A. Tabakov (GEOVERS Ltd.), V.N. Ferentsi (UNIS Ltd.), D.V. Oguenko (UNIS Ltd.), L.V. Kalvan (UNIS Ltd.), D.A. Mukhin (UNIS Ltd.), A.S. Kolosov (UNIS Ltd.) & A.V. Baev (MSU)

SUMMARY

Practical application aspects of method for joint usage of pressure and shear converted reflected waves for far offset shot points are observed. The efficiency of the method to restore normal reflectivity of corridor stack trace and VSP image is shown to gain higher quality of VSP tie to CMP and log data, to improve resolution and to increase signal/noise ratio. Real data case studies for reflectivity traces, VSP images and sonic impedances are demonstrated

Введение

В работе Баранова К.В. и др. (2006) была предложена эвристическая методика восстановления отражательной характеристики среды по нормали путем суммирования индивидуальных отражательных характеристик волн PP и PS с весами. Также были проведены эксперименты на синтетических и реальных данных, результаты которых подтверждали прикладную правомерность подхода. Севастьянов Л.В. и др. (2007) аналитически исследовали обратную динамическую задачу сейсмологии и теоретически обосновали предложенную методику для важного класса сред и условий распространения волн. Была показана применимость методики в широком диапазоне углов падения на границу, что открывает возможность использовать материалы вертикального сейсмического профилирования (ВСП) дальних пунктов возбуждения для изучения нормальных отражательных характеристик разреза. Представляется важным опробовать методику на реальных данных, продемонстрировав особенности применения и сравнив результаты с полученными в рамках традиционного подхода. Требуется также сопоставить полученные результаты с другими геофизическими методами (ГИС, ОГТ).

Метод

Традиционная технология обработки данных ВСП включает в себя построение трассы однократных отражений (ТОО) по полю продольных отраженных волн ближнего пункта возбуждения (ПВ) ВСП. Геометрия системы наблюдения в этом случае делает падение регистрируемых отраженных волн на субгоризонтальные границы очень близкими к нормальному. В случае незначительного уровня шумов ТОО характеризует коэффициенты отражения границ по нормали. В то же время, данные с дальних ПВ используются для построения изображений среды на продольных и обменных поперечных волнах на удалении от скважины. Эти изображения характеризуют коэффициент отражения среды с переменным углом падения по латерали, что затрудняет интерпретацию и сопоставление с результатами других геофизических исследований, включая ВСП в соседних скважинах. Кроме того, следует отметить, что в сложных геологических ситуациях с крутыми границами пластов только коэффициент отражения по нормали на изображении правильно характеризует среду.

Согласно работе Севастьянова Л.В. и др. (2007) из решения системы уравнений Цёппритца (Zoeppritz) при условии физически обоснованных упрощений коэффициент отражения по нормали A_{pp0} может быть аппроксимирован по формуле:

$$A_{pp0} = A_{pp}(\theta) + \frac{1}{2} \sin(\theta) A_{ps}(\theta) \quad (1)$$

где $A_{pp}(\theta)$ – коэффициент отражения продольной волны при падении под углом θ , $A_{ps}(\theta)$ – коэффициент отражения поперечной обменной волны. Таким образом, для восстановления нормального коэффициента отражения используется информация не только из монотипных, но также и из обменных отражений, получаемых в рамках обработки трехкомпонентных сейсмических данных.

Предлагается использовать предложенную аппроксимацию для включения данных ВСП с дальних пунктов возбуждения для восстановления отражательной характеристики среды по нормали. Для этого есть следующие основания:

- Несколько дальних ПВ позволяют увеличить отношение сигнал/шум, сделав оценку коэффициента отражения более достоверной.
- Приближение условий падения прямой волны с ближнего ПВ на границу к нормальным справедливо только для горизонтально слоистых сред и вертикальных скважин, что является частным случаем и не адекватно задачам современной сейсморазведки.
- Значения амплитуд изображения, скомпонованного с учетом (1) из изображений по продольным и поперечным обменным отраженным волнам, получают смысл коэффициента отражения по нормали.

Примеры

Отражательная характеристика среды в ближайшем околоскважинном пространстве описывается кривыми акустического и плотностного каротажа. Целесообразно сопоставить с ней трассу однократных отражений ВСП, полученную как традиционным способом, так и путем восстановления нормальной отражательной характеристики по дальним ПВ. Для приведения каротажной отражательной характеристики к виду, пригодному для сравнения с трассами однократных отражений ВСП, необходимо осуществить свертку с импульсом подходящей формы. Объективной мерой оценки схожести синтетической и реальной трасс однократных отражений является максимум коэффициента корреляции.

Было проведено сопоставление ТОО, полученной по отраженным продольным волнам ближнего ПВ, а также ТОО продольных, поперечных обменных по дальним ПВ, взвешенной суммы продольных и поперечных обменных по дальним ПВ, а также суммы ТОО ближнего и дальних ПВ. Суммирование для восстановления отражательной характеристики по нормали согласно (1) и с учетом конкретной геометрии наблюдения производилось по формулам:

- для дальних ПВ:
$$a_{\Sigma}(t) = \sum_{k=1}^{N_{sp}} (a_k^{PP}(t) + 0.25 * a_k^{PS}(t)) \quad (2)$$

- сумма ближнего и дальних ПВ:
$$a_{0\Sigma}(t) = a_0^{PP}(t) + a_{\Sigma}(t), \quad (3)$$

где a_k^{PP} – ТОО по отраженным продольным волнам k -го ПВ, a_k^{PS} – ТОО по отраженным обменным волнам k -го ПВ, $k=0$ – ближний ПВ, N_{sp} – количество дальних ПВ.

Синтетические отражения были получены сверткой импульсной характеристики среды, рассчитанной по плотностям и акустике, с импульсом Рикера с опорной частотой 80 Гц (рис.1а). При этом частоты полученной синтетической трассы были распределены в диапазоне от 6 до 225 Гц. Реальные трассы были отфильтрованы в тот же частотный диапазон (рис.1б,в,г,д,е). Взаимная корреляция между реальными трассами однократных отражений ВСП превосходила 0.5, была симметрична относительно максимума, а взаимный сдвиг был равен нулю. Таким образом, ТОО можно суммировать синфазно.

Рассчитанные максимумы корреляционных функций представлены на рисунке 1 под изображением трасс. Сдвиг максимума реальных трасс относительно синтетической составил +5.67мс. Из рассмотрения коэффициентов корреляции следует, что подобие суммарной трассы по сумме дальних ПВ a_{Σ} лучше ТОО по ближнему ПВ, а сумма ближнего и дальних $a_{0\Sigma}$ наиболее подобна синтетической трассе из всех рассмотренных. Назовем a_{Σ} (рис.1д) и $a_{0\Sigma}$ (рис.1е) *трассами нормализованных отражений* (ТНР).

Невысокий по абсолютному значению коэффициент корреляции (0.21) вызван присутствием помех и несовпадением импульса Рикера и реального. Большой коэффициент корреляции при суммировании ТОО разных удалений и типов вызван, во-первых, компенсацией коэффициента отражения за угол падения, во-вторых, улучшением отношения сигнал/шум в трассах нормализованных отражений по сравнению с ТОО, полученной по ближнему ПВ.

Вторым важным этапом привязки данных ВСП является корреляция трассы однократных отражений ВСП с разрезом ОГТ наземной сейсмоки, проходящим вблизи скважины. Помимо определения поправочного сдвига данных ОГТ, возникающего в силу неточного уровня приведения и ненульфового сигнала данных наземной сейсмоки, трасса однократных отражений ВСП используется для деконволюции данных ОГТ с целью повышения их разрешенности. В этом случае уточнение ТОО за счет компенсации ненормального угла падения волн на пласты имеет первостепенное значение, так как влияет на результат деконволюции.

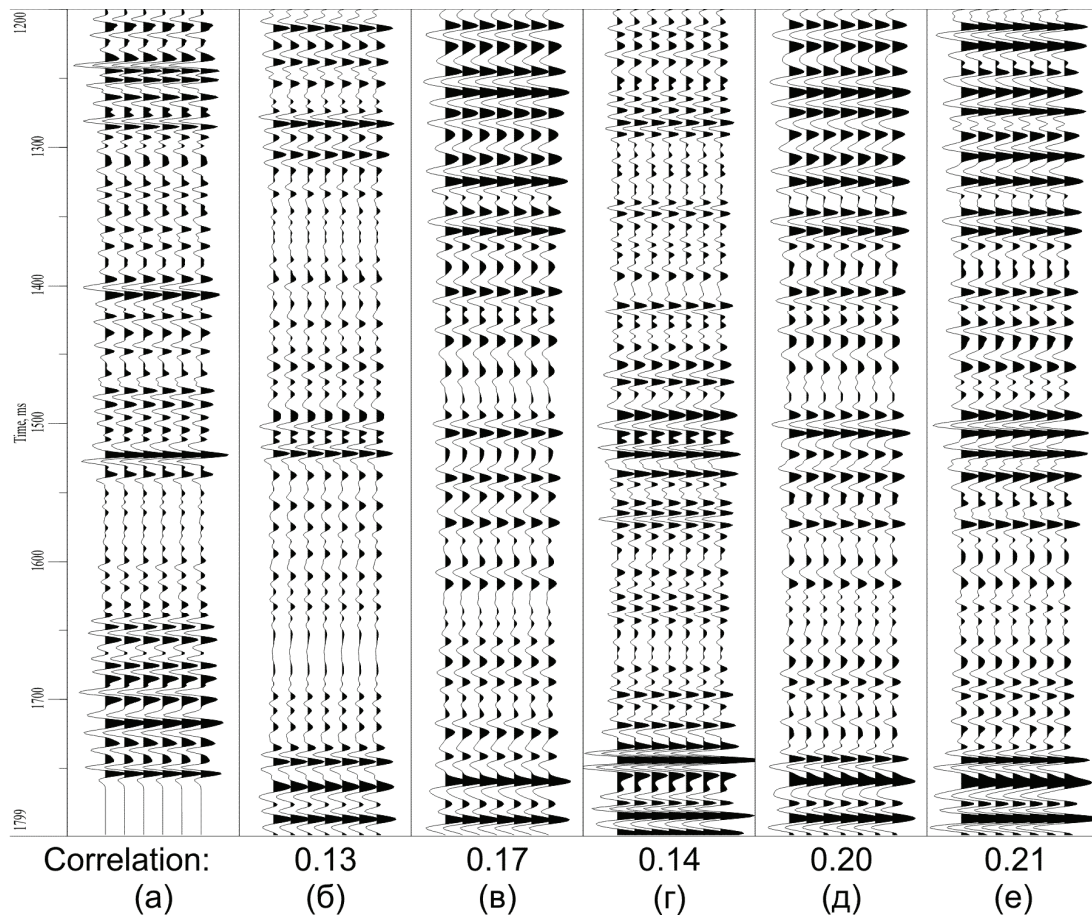


Рисунок 1 Корреляция синтетических отражений (а) и реальных ТОО продольных волн по ближнему ПВ (б), дальним ПВ (в), обменных поперечных по дальним ПВ (г), суммы по дальним (д) и суммы ближнего с дальними (е).

Получение профиля в методе ОГТ подразумевает большую кратность суммирования, поэтому с точки зрения отношения сигнал/шум он дает более достоверную в качественном плане отражательную характеристику разреза, чем ТОО ВСП. Была сделана привязка трассы однократных отражений ВСП, полученной по продольным отражениям с ближнего ПВ. Также была получена трасса нормализованных отражений ВСП с ближнего и с дальнего ПВ по формулам (2) и (3) с использованием обменов. Результат привязки обеих трасс по наклонной скважине приводится на рис.2. Подобие традиционной трассы однократных отражений ВСП с разрезом ОГТ вдоль ствола скважины составляет 0.35 (рис.2а), в то время как трасса нормализованных отражений коррелируется с разрезом ОГТ лучше – значение максимума составляет 0.5 (рис.2б).

Метод восстановления нормального коэффициента отражения путем взвешенного суммирования характеристик разреза, полученных по продольным и по обменным волнам в ряде случаев дает не только количественный, но и качественный эффект. При некоторых условиях изображение участка границы на отраженных волнах не формируется. Добавление информации, присутствующей в обменных волнах, позволяет восстановить изображение этого участка, а также повысить разрешенность изображения. Изображения, полученные по данной методике, по аналогии с трассой нормализованных отражений назовем *изображениями нормализованных отражений*.

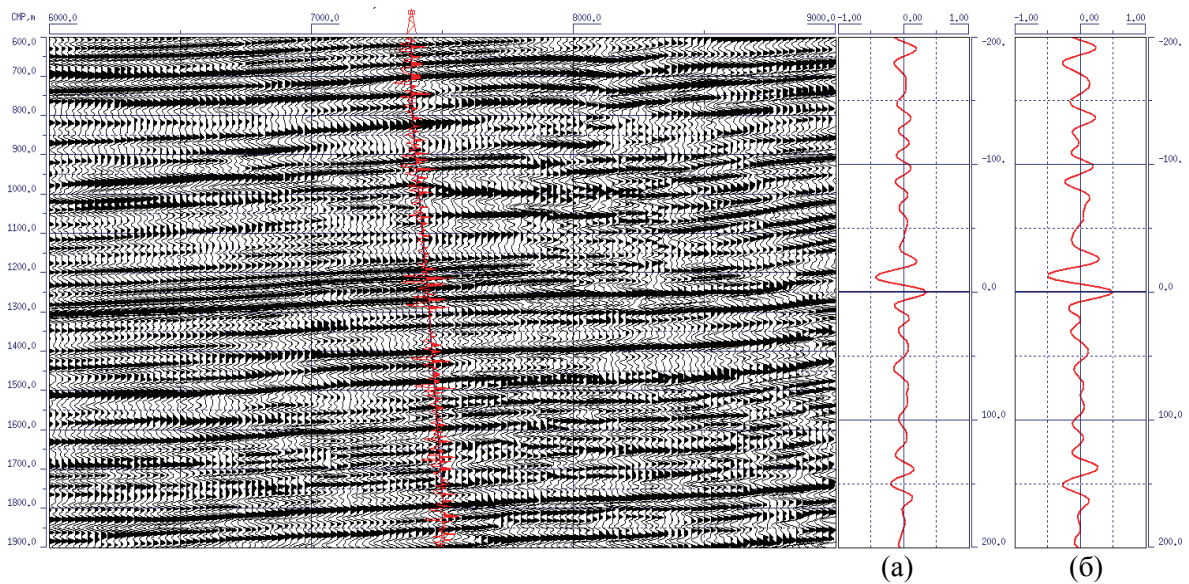


Рисунок 2 Корреляция с разрезом ОГТ трассы однократных отражений ВСП для продольных волн (а) и трассы нормализованных отражений по ближнему и дальнему ПВ с использованием обменных волн (б).

Эффект расширения спектра, возникающий при суммировании отражательных характеристик по продольным и обменным поперечным волнам, позволяет рассчитать динамически более разрешенное поле импедансов по изображению. Ряд отражающих горизонтов на поле акустических импедансов, полученных по изображению продольных отраженных волн, выглядят неконтрастно, что затрудняет интерпретацию материала. Эти дефекты устраняются при расчете импедансов по изображению нормализованных отражений. Кроме повышения контрастности изменяются соотношения между импедансами ряда границ, что делает количественную интерпретацию более достоверной.

Выводы

1. Проведена практическая опробация метода использования обменных отраженных волн для восстановления нормальной отражательной характеристики среды и повышения разрешающей способности результатов обработки ВСП на нескольких объектах Западной Сибири и Колумбии.
2. Сопоставлены трассы однократных и нормализованных отражений с синтетическими отражениями, рассчитанными по данным каротажа. Показано лучшее подобие трасс нормализованных отражений синтетическим по сравнению с трассой однократных отражений.
3. Продемонстрировано улучшение качества привязки к разрезу ОГТ трассы нормализованных отражений ВСП по сравнению с традиционной трассой однократных отражений.
4. Отмечены эффекты качественного улучшения нормализованного изображения ВСП и поля импедансов, рассчитанных по предложенной методике по сравнению с традиционными.
5. Совокупность положительных результатов и общность используемого метода позволяет наметить пути эффективного использования обменных волн в наземной сейсмике.

Ссылки

Баранов К.В., Табаков А.А., Баев А.В., Севастьянов Л.В., Беленова А.В. [2006] Оценка отражательных характеристик среды по комбинации PP- и PS-волн из нескольких пунктов взрыва, *Гальперинские чтения-2006*, Тезисы докладов, Москва.

Севастьянов Л.В., Табаков А.А., Баев А.В., Баранов К.В. [2007] Частное решение обратной динамической задачи сейсмике восстановления среды по комбинации волн различных типов, *Гальперинские чтения-2007*, Тезисы докладов, Москва.