

## **01 Использование обменных поперечных волн для восстановления нормальной отражательной характеристики разреза и повышения разрешенности изображения**

Елисеев В.Л.\* , Табаков А.А.\*\* , Баев А.В.\*\*\* , Калван Л.В. \* ,  
Ференци В.Н.\* , Мухин Д.А.\*\*\*\* , Колосов А.С.\*\*\*\* , Огуенко Д.В.\*  
(\* ООО «ГЕОВЕРС», Москва, \*\* ОАО «ЦГЭ», Москва, \*\*\* МГУ, Москва,  
\*\*\*\* ООО «УНИС», Санкт-Петербург)

### **Using of converted shear waves to restore normal medium reflectivity and to increase resolution of an image**

Eliseev V.L.\* , Tabakov A.A.\*\* , Baev A.V.\*\*\* , Kalvan L.V.\* ,  
Ferentsi V.N.\* , Muhin D.A.\*\*\*\* , Kolosov A.S.\*\*\*\* , Oguenko D.V.\*  
(\* GEOVERS Ltd., Moscow, \*\* CGE JSC, Moscow, \*\*\* MSU, Moscow,  
\*\*\*\* UNIS Ltd., Saint Petersburg)

**Аннотация.** Рассматриваются аспекты практического применения методики совместного использования продольных и обменных поперечных отраженных волн, полученных с дальних пунктов возбуждения. Показана эффективность методики восстановления нормальной отражательной характеристики разреза ВСП для повышения качества привязки к данным ГИС и ОГТ, увеличения разрешенности и отношения сигнал/шум. Демонстрируются примеры трасс однократных отражений, разрезов ВСП и акустических импедансов, полученные на реальных данных.

**Abstract.** 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 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.

В предыдущих работах [1-2] была предложена методика восстановления отражательной характеристики среды по нормали путем суммирования индивидуальных отражательных характеристик волн PP и PS с весами. Была показана применимость методики в широком диапазоне углов падения на границу, что открывает возможность использовать материалы дальних ПВ для изучения нормальных отражательных характеристик разреза.

Предлагается использовать эту методику для восстановления коэффициента отражения по нормали как для трасс однократных отражений, так и для изображений и импедансов, полученных с дальних пунктов возбуждения для восстановления отражательной характеристики среды по нормали. Для этого есть следующие основания:

- Несколько дальних ПВ позволяют увеличить отношение сигнал/шум в трассе однократных отражений, сделав оценку коэффициента отражения более достоверной и близкой к нормальной.
- 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.
- Нормализация амплитуд изображения околосоляжинного пространства с использованием поперечных обменных отраженных волн придает амплитудам смысл коэффициента отражения по нормали, поскольку в сложных геологических ситуациях с крутыми границами пластов только он правильно характеризует среду.

В [2] А.А. Табаков и А.В. Баев показали, что из систем уравнений Нота-Цёпритца (Nott-Zoeppritz) при выполнении определенных условий можно получить связь между коэффициентами отражения РР волн по нормали  $A_{pp0}$ ,  $A_{pp}(\theta)$  – под углом  $\theta$ , и коэффициентом отражения поперечных обменных волн (типа P-SV) –  $A_{ps}(\theta)$ . Математические условия, при которых выполняется установленное соотношение

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

- это малые перепады скоростей на границе раздела пластов, малые углы падения  $\theta$  и малая величина отклонения отношения  $V_s/V_p$  от величины 0.5. Однако проведенные расчеты показали справедливость равенства (1) в значимом диапазоне указанных параметров. Так, в [1] допустимые углы  $\theta$  были в пределах  $40^\circ$ .

Соотношение (1) отличается от известных [3-5] формул коррекции за угол, например, в [5], где (1) соответствует

$$A_{pp0} = A_{pp}(\theta) \left( 1 + \cos^2(\theta) \right) \quad (2)$$

тем, что принципиально использует дополнительную информацию в виде обменных (P-SV) волн. Таким образом, для восстановления нормального коэффициента отражения используется информация не только из моно-типных, но также и из обменных отражений, получаемых в рамках обработки трехкомпонентных сейсмических данных. Практика произведенных расчетов показывает, что привлечение такой информации может существенно повысить качество материалов, полученных в результате совместной обработки трасс однократных отражений (ТОО) РР и PS волн.

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 наблюдений производилось по формулам:

- для дальних ПВ: 
$$a_{\Sigma}(t) = \sum_{k=1}^{N_{sp}} \left( a_k^{PP}(t) + 0.25 a_k^{PS}(t) \right) \quad (3)$$

- сумма ближнего и дальних ПВ: 
$$a_{0\Sigma}(t) = a_0^{PP}(t) + a_{\Sigma}(t), \quad (4)$$

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 свёрткой 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 трассам 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 рис. 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  $a_{\Sigma}$  лучше ТОО по ближнему ПВ, а сумма ближнего и дальних  $a_{0\Sigma}$  наиболее подобна синтетической трассе из всех рассмотренных. Назовем  $a_{\Sigma}$  (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.

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 ненульfazового 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.

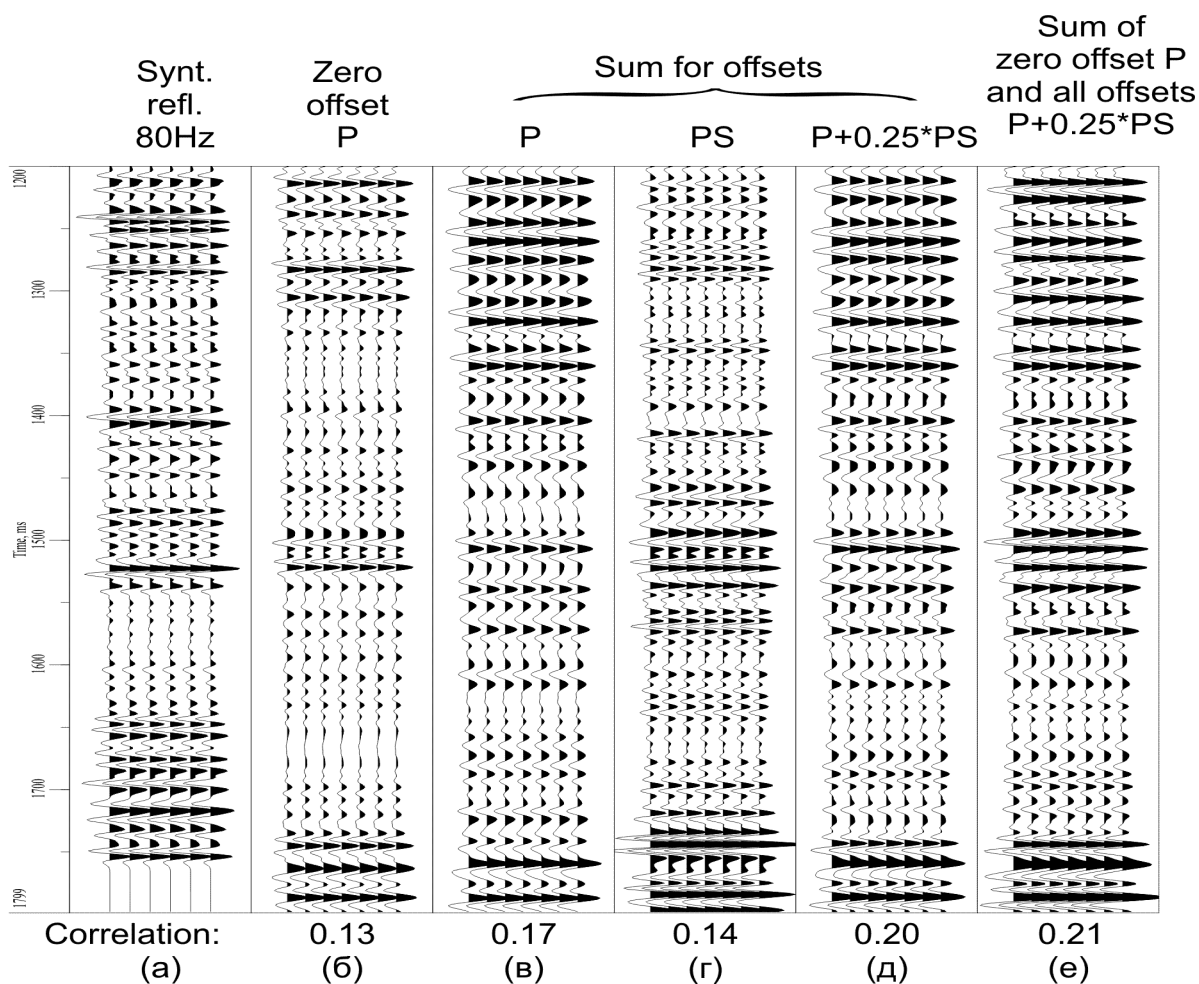


Рис.1: Корреляция синтетических отражений (а) и реальных ТОО продольных волн по ближнему ПВ (б), дальним ПВ (в), обменных поперечных по дальним ПВ (г), суммы по дальним (д) и суммы ближнего с дальними (е).

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 (3) и (4) 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 отраженным 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*.

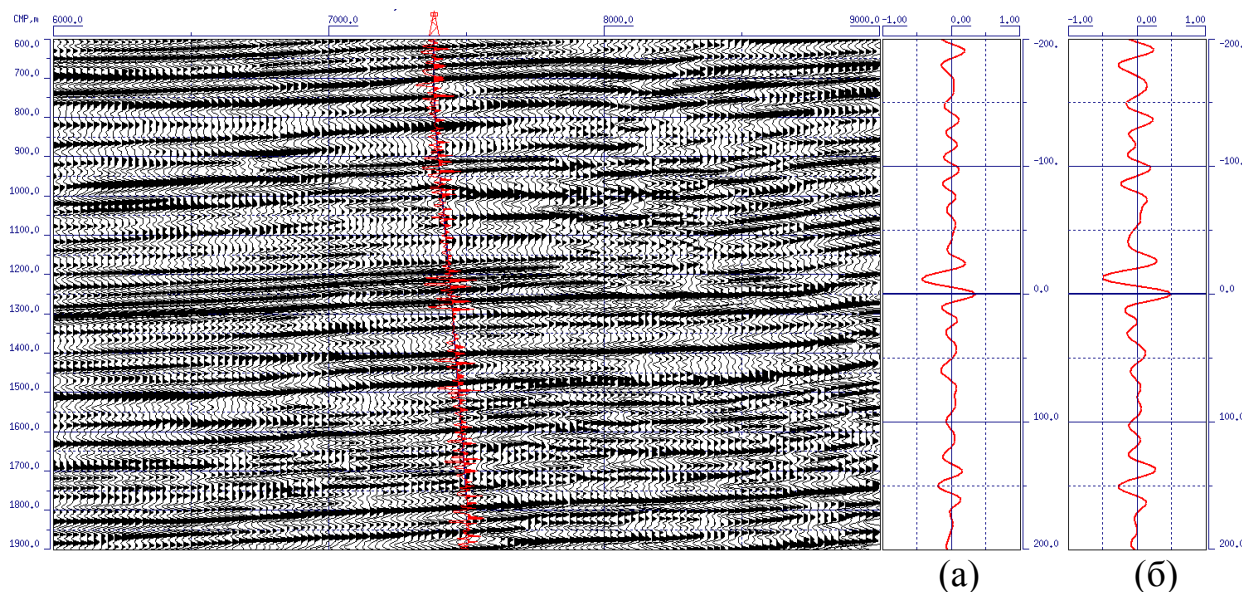


Рис.2: Корреляция с разрезом ОГТ трассы однократных отражений ВСП для продольных волн (а) и трассы нормализованных отражений по ближайшему и дальнему ПВ с использованием обменных волн (б).

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 не контрастно, что затрудняет интерпретацию материала. Эти дефекты устраняются при расчете импедансов по изображению нормализованных отражений, несущему информацию не только о продольных, но и об обменных отраженных волнах. Кроме повышения контрастности изменяются соотношения между импедансами ряда границ, что делает количественную интерпретацию более достоверной.

Выводы:

1. Отмечено улучшение качества привязки с данным ГИС и ОГТ, результатов ВСП, полученных по предложенной методике.
2. Подчеркнуто повышение контрастности изображения ВСП и поля импедансов, а также отмечен качественный прирост информативности для результатов по сравнению с полученными традиционными методами.
3. Совокупность положительных результатов и общность предложенного в [1-2] метода позволяет наметить пути эффективного использования обменных волн в наземной сейсмике.

## Литература:

1. К.В. Баранов, А.А. Табаков, А.В. Баев, Л.В. Севастьянов, А.В. Беленова Оценка отражательных характеристик среды по комбинации PP- и PS-волн из нескольких пунктов взрыва, *Гальперинские чтения-2006, Тезисы докладов*. Москва, 2006
2. Л.В. Севастьянов, А.А. Табаков, А.В. Баев, К.В. Баранов Частное решение обратной динамической задачи сейсмоки восстановления среды по комбинации волн различных типов, *Гальперинские чтения-2007, Тезисы докладов*. Москва, 2007
3. К. Аки, П. Ричардс *Количественная сейсмология. Теория и методы*. Москва, Наука, 1983
4. R.T. Shuey A simplification of the Zoeppritz equations. *Geophysics*, 1985, v.50, pp. 609-614
5. R.S. Spratt, N.R. Goins, T.J. Fitch *Pseudo-Shear--The Analysis of AVO in Castagna J.P., Backus M.M., Eds, Offset-dependent reflectivity – Theory and practice of AVO analysis*, Soc. of Exploration Geophysicists, 1993, pp.37-56