

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГИХ ИМПЕДАНСОВ В МЕТОДЕ ВСП: РЕЗУЛЬТАТЫ И ДАЛЬНЕЙШИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

Г.А.Шехтман \*, В.М.Кузнецов\*, В.А. Редекор \*\*  
(\*ГФУП «ВНИИГеофизика», \*\*ООО «ВИМСЕЙС»)

## EVALUATION OF ELASTIC IMPEDANCES AT VSP METHOD: RESULTS AND FURTHER PROSPECTS

G.A.Shekhtman\*, V.M.Kuznetsov\*, V.A.Redekor\*\*  
*\*VNIIGeofizika, Moscow, \*\*Vimseis, Moscow*

### **Аннотация.**

Наряду с определением упругого импеданса по продольным отраженным волнам и упругого сдвигового импеданса по обменным отраженным волнам, впервые рассчитаны сдвиговые импедансы по монотипным поперечным отраженным волнам, регистрируемыми при ВСП с ненаправленными источниками колебаний. При определении сдвиговых импедансов по отраженным волнам, возникающим при наклонном падении лучей на отражающую границу, предлагается предпочтение отдавать монотипным поперечным волнам, которые позволяют сохранить физический смысл определяемых сдвиговых импедансов при углах падения луча, близких к нормальному.

### **Abstract.**

Together with elastic impedance determining on compressional reflected waves and elastic shear impedance determining on converted reflected waves, the first time shear impedance was calculated on monotype shear reflected waves, recorded at VSP with an undirected source of vibrations. When determining shear impedances on reflected waves, arising at oblique angle of a ray incidence on the reflecting boundary the preference is suggested to give for monotype shear waves, which allow to preserve the physical sense of the determined shear impedances when the angle of the ray incidence is close to the normal one.

Записи ВСП путем амплитудной инверсии можно преобразовывать в упругие и сдвиговые импедансы, учитывая специфику регистрации сейсмических колебаний внутри среды. Наибольшие трудности возникают при этом на этапе предварительной обработки записей непродольного ВСП (НВСП), когда требуется учет таких факторов, как изменение амплитуд отраженных волн при пересечении ими контрастных пластов покрывающей толщи, геометрическое расхождение волн, неупругое затухание и др. После их учета на амплитудных разрезах, полученных путем миграции, будет проявляться суммарный эффект. Он обусловлен изменением амплитуд в связи с изменением углов падения волн в разные точки приема и изменением отражающих свойств сейсмической границы. Разделить эти два эффекта на разрезах НВСП практически невозможно. В описываемых работах ослабление эффекта изменения амплитуд в связи с изменением углов падения в разные точки границы достигалось путем нормирования амплитуд отражений от целевого горизонта на амплитуды ближайшего опорного горизонта, отличающегося выдержанностью физических свойств и явно не

содержащего аномальных отражающих участков в пределах околоскважинного пространства

Остановимся подробнее на корректности определения сдвигового импеданса лишь по обменным волнам, которые для этой цели используют в настоящее время во всем мире в наземной и скважинной сейсморазведке [4, 5, 10].

По обменным отраженным волнам, амплитуда которых зависит от угла падения волны  $i$  на отражающую границу, от скоростей распространения поперечных волн и плотностей контактирующих пород, сдвиговый упругий импеданс (shear elastic impedance, сокращенно - *SEI*) определяют по формуле [10], в которой показатели степени для скорости  $V_S$  и плотности  $\rho$  линейно зависят от величины  $\sin i$ :

$$SEI(i_p) = V_S^{m(K,i_p)} \rho^{n(K,i_p)},$$

где

$$m(K, i_p) = 4K \sin(i_p) [1 - \frac{1}{2}(1 + 2K) \sin^2(i_p)],$$

$$n(K, i_p) = (1 + 2K) \sin(i_p) [1 - \frac{K(1 + \frac{3}{2}K)}{(1 + 2K)} \sin^2(i_p)],$$

а величина  $K = V_S/V_P$ , равная отношению средних значений скоростей по разные стороны от отражающей границы, полагается константой.

Значение *SEI*, определяемое этой формулой, уменьшается с уменьшением угла падения продольной волны  $i_p$  на отражающую границу, в пределе стремясь к значению, равному единице для нормального падения луча. Ясно, что из стремления к нулю амплитуды обменной отраженной волны при стремлении угла падения падающей продольной волны к нулю не должно следовать столь абсурдное предельное значение этого сейсмического атрибута. Поэтому вполне можно согласиться с определением величины *SEI* как *абстракции* [3]. По нашему мнению, физически оправданное определение сдвигового импеданса вытекает из рассмотрения этой величины для условия *монотипной поперечной волны*, отражающейся от рассматриваемой границы.

Из формулы для приближенного значения коэффициента отражения для монотипной поперечной отраженной волны [1] можно получить выражение для сдвигового импеданса (обозначим его аббревиатурой *SI*). Для случая нормального падения луча на отражающую границу оно сохраняет физический смысл подобно тому, как значение упругого импеданса для продольных отраженных волн в случае нормального падения совпадает со значением акустического импеданса:

$$SI = \rho V_S \rho^{-2 \sin^2 i} V_S^{\frac{\operatorname{tg}^2 i - 8 \sin^2 i}{2}}.$$

Сравним полученное выражение для *SE* с выражением для упругого импеданса *EI* [9]:

$$EI = V_p^{(1 + \operatorname{tg}^2 i)} V_s^{(-8K \sin^2 i)} \rho^{(1 - 4K \sin^2 i)},$$

где  $K = V_s^2/V_p^2$ .

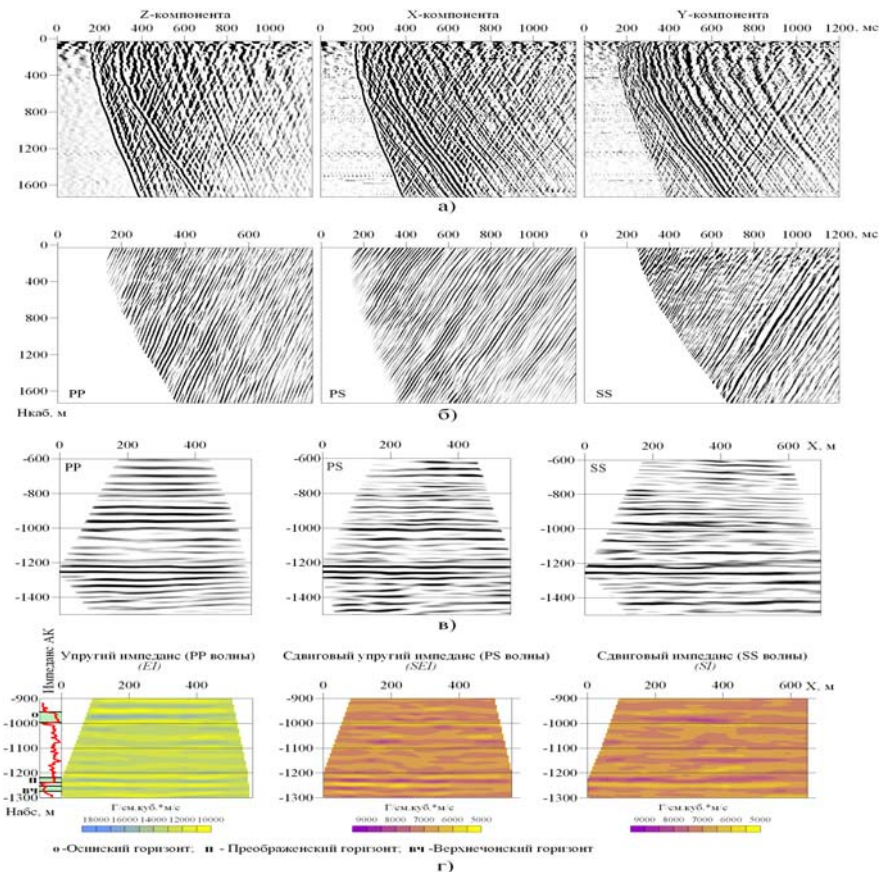
Легко видеть, что при стремлении угла падения волны на границу  $i$  к нулю значение  $SI$  стремится к величине  $\rho V_s$ , а значение  $EI$  - к величине  $\rho V_p$ . Таким образом, привлечение поперечных монотипных, а не обменных, волн для определения сдвигового импеданса позволяет иметь дело с реальным физическим параметром  $SI$ . При переходе от непродольного вертикального профиля к продольному он будет сохранять свое значение и может также быть определен непосредственно по записям ВСП, полученным с ближнего ПВ.

Монотипные поперечные волны при работах ВСП, выполняемых по классической устоявшейся методике, регистрируют при возбуждении колебаний импульсным или вибрационным *направленными* источниками, специально для этого предназначенными. Однако при работах *ненаправленным* источником формируется широкий диапазон волн, которые падают на отражающие целевые границы и затем отражаются от них как волны поперечные. К ним можно отнести обменные волны, испытавшие обмен на сейсмических границах в покрывающей толще [7], а также поперечные волны, сформировавшиеся непосредственно вблизи источника колебаний из-за анизотропии верхней части разреза.

Падающие поперечные волны, регистрируемые на  $u$ -компоненте, давно используют в практике работ ВСП для определения сейсмических скоростей. Цуг падающих поперечных волн можно использовать в качестве опорного сигнала при деконволюции отраженных поперечных волн с целью последующего построения глубинных разрезов НВСП на монотипных поперечных волнах. Имеются успешные примеры такой обработки записей, полученных в условиях Восточной Сибири [6]. Приведем примеры амплитудной инверсии данных ВСП, полученных на Верхнечонском месторождении, расположенном на Непском своде на севере Иркутской области [2].

В результате инверсии разрезы амплитуд на продольных (PP) и обменных (PS) отраженных волнах, а также поперечных (SS) отраженных волнах были преобразованы соответственно в разрезы кажущихся упругих импедансов ( $EI$ ), кажущихся упругих сдвиговых импедансов ( $SEI$ ) и кажущихся сдвиговых импедансов ( $SI$ ). Разрезы  $SI$  получены впервые (рис. 1). Примечательно, что разрезы  $SEI$  и  $SI$  оказались близки между собой по качеству и более выразительными, чем разрезы кажущегося импеданса  $EI$ .

Полученные значения импедансов были затем с использованием корреляционных зависимостей пересчитаны в значения пористости для целевых горизонтов, по которым строили карты пористостей.



**Рис. 1.** Примеры результатов основных этапов обработки: а) исходные сейсмограммы X,Y,Z-компонент; б) поля отраженных волн; в) глубинные мигрированные разрезы; г) глубинные разрезы кажущихся импедансов.

### Выводы:

1. Определение сдвигового импеданса по монотипным поперечным отраженным волнам или обменным отраженным волнам с обменом на границах в верхней толще разреза дает возможность получить значение физического параметра, сохраняющего физический смысл в случае нормального падения луча на отражающую границу.

2. Амплитудная инверсия данных НВСП по глубинным разрезам, полученным путем миграции, имеет существенные ограничения. Разработка математического обеспечения, позволяющего определять упругие и сдвиговые импедансы непосредственно по сейсмограммам с учетом особенностей регистрации волн внутри слоистой покрывающей толщи, может позволить существенно повысить разрешающую способность и точность метода.

3. Впервые полученные по монотипным отраженным поперечным волнам обнадеживающие значения сдвигового импеданса дают основание рекомендовать продолжение исследований в этом направлении.

### Литература

1. Аки К., Ричардс П. , 1983, Количественная сейсмология, т. 1: М., Мир, с.519.

2. *Барышев Л.А., Редекон В.А., Шехтман Г.А.*, 2009, Возможности изучения терригенных коллекторов наземной и скважинной сейсморазведкой в Восточной Сибири//Технологии сейсморазведки, 2, 64-76.

3. *Петров Е.И.*, 2005, Исследование возможностей и разработка методики совместного АВО-анализа на продольных и обменных отраженных волнах//Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, с. 25.

4. *Петров Е.И., Керусов И.Н., Тихонов А.А., Шалаева Н.В.*, 2004, Прогнозирование фильтрационно-емкостных свойств в околоскважинном пространстве по данным многокомпонентного выносного ВСП: Каротажник, 3 – 4 (116-117), 208-211.

5. *Петров Е.И., Шалаева Н.В.*, 2004, Использование динамических особенностей данных многоволновой сейсморазведки для прогноза коллекторских свойств//Технологии сейсморазведки, 2, с. 100-104.

6. *Шехтман Г.А., Кузнецов В.М., Бодякин В.А., Дёка А.А.*, 2008, Первые результаты комплексирования непродольного ВСП и ВСП с подвижным источником в Восточной Сибири// «Гальперинские чтения-2008», доклады и тезисы, с. 41-46.

7. *Шехтман Г.А., Кузнецов В.М., Жуков А.П., Коротков И.П., Бурлаков А.В.*, 2006, Расширение типов волн, используемых в сейсморазведке: предпосылки и результаты// Технологии сейсморазведки, 3, 30-34.

8. *Chopra S., Marfurt K.J.*, 2005, Seismic attributes – a historical perspective: Geophysics, v. 70, № 5, P 3SO-28SO.

9. *Connolly P.*, 1999, Elastic impedance: The Leading Edge, v. 18, № 4, 438-452.

10. *Duffaut K., Allos T., Landro M., Rogno H.*, 2000, Shear-wave elastic impedance: The Leading Edge, v. 19, № 11, 1222-1229.

\*\*\*\*\*