



РАСЧЕТ АПРИОРНЫХ СТАТИЧЕСКИХ ПОПРАВОК В МОВ С УЧЕТОМ ПОЛОЖЕНИЯ ЗАРЯДА ОТНОСИТЕЛЬНО ПОДОШВЫ ЗОНЫ МАЛЫХ СКОРОСТЕЙ

А. П. Сысоев, А. А. Шамордин

Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

При обработке наземных сейсмических наблюдений методом отраженных волн с применением взрывного источника возбуждения стандартный способ компенсации неоднородности зоны малых скоростей (ЗМС) основан на использовании параметров взрывных скважин: глубины заложения заряда, вертикального времени и скорости подстилающей толщи, определяемой по кажущейся скорости преломленной волны. Необходимым условием применимости данного способа является размещение заряда ниже подошвы ЗМС, поэтому необходимо для каждого источника выполнить оценку положения заряда относительно кровли ЗМС. При невыполнении необходимого условия для расчета статических поправок требуется решить задачу оценки мощности и скорости ЗМС. В представленной работе задача анализа положения заряда относительно подошвы ЗМС и оценки параметров зоны решается на основе совместного анализа параметров скважин и волны, преломленной на подошве ЗМС. Решение задачи иллюстрируется на примере обработки реальных данных.

Ключевые слова: зона малых скоростей, априорные статические поправки, преломленная волна, вертикальное время, глубина взрывных скважин.

CALCULATIONS OF DATUM STATICS IN REFLECTION METHOD WITH CONSIDERATION TO THE POSITION OF THE CHARGE RELATIVE TO THE BASE OF LOW-VELOCITY LAYER

A. P. Sysoev, A. A. Shamordin

Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia

While processing ground-based seismic operations by the reflection method using an explosive excitation source, the standard method of compensation technique for the inhomogeneity of the low velocity layer (LVL) is based on the use of blastholes parameters: shot depth, TSP and velocity of underlying stratum, determined by the apparent velocity of refracted wave. The necessary condition for the applicability of this method is the arrangement of the charge below the base of the LVL. Therefore, to substantiate this method, it is necessary to evaluate the position of the charge relative to the roof of the LVL for each source. If the necessary condition for calculating statics computations is not met, it is necessary to solve the problem of estimating the LVL's thickness and velocity. The presented work contains the problem of analyzing the position of the charge relative to the LVL's position and estimating the layer parameters which is solving on the basis of joint analysis of the parameters of wells and wave refracted on the LVL base. The solution of the problem is illustrated by the example of real data processing.

Keywords: lower velocity layer, datum statics, refracted wave, TSP, shothole depth.

DOI 10.20403/2078-0575-2022-2-57-61

Компенсация структурно-скоростной неоднородности верхней части разреза (ВЧР) является сложной и плохо формализованной проблемой, возникающей при обработке наземных сейсмических наблюдений МОВ. Выделим три причины, определяющие ее сложность.

1. Прежде всего, сам объект характеризуется многообразием строения и резкой латеральной и вертикальной скоростной неоднородностью.

2. При планировании сейсмических исследований задача изучения ВЧР как необходимой составляющей структурно-скоростной модели среды не рассматривается. И в силу этого обычно отсутствует система данных, достаточная для корректного решения задачи. Исключением из этого правила является методика многоуровневой сейсморазведки [1, 3], но она не получила широкого распространения.

3. В скоротечном режиме производственного процесса исполнители не имеют возможности теоретического обоснования задачи учета ВЧР и вынуждены применять имеющиеся в пакетах обработки решения, удовлетворяющие критериям наилучшего выделения сигналов.

Тем не менее в каждом конкретном проекте при обработке сейсмических данных задача учета неоднородности ВЧР должна решаться. При недостаточной системе данных единственного решения задача не имеет и выбор конкретной реализации определяется допущениями, используемыми при формулировке задачи.

В свете сказанного представляется важным в практической деятельности знать и использовать немногие варианты, обеспечивающие единственность решения задачи оценки параметров ВЧР, реализуемые по данным стандартной съемки.



В настоящей работе рассматривается задача компенсации неоднородности зоны малых скоростей – составляющей, присущей всем типам ВЧР. При изложении материала для иллюстрации будем использовать данные по одному из профилей Западно-Сибирского региона.

Из-за большого различия скорости в зоне малых скоростей (ЗМС) и подстилающей толще, независимо от удаления приемник – источник (ПП-ПВ), лучи пересекают ЗМС субвертикально. Поэтому задача компенсации ЗМС сводится к расчету и вводу статических поправок, которые определяются временем пробега волны от точек размещения ПВ и ПП до линии приведения.

Здесь задача оценки параметров модели ВЧР и расчета статических поправок рассматривается при следующих условиях.

1. Источник возбуждения – взрыв в скважинах. Параметры источника определяются глубиной h_c заложения заряда и вертикальным временем t_v пробега волны вдоль ствола скважины от забоя до дневной поверхности.

2. Верхняя часть разреза определяется зоной малых скоростей. Как следствие, в первых вступлениях регистрируется преломленная (головная) волна с кажущейся скоростью v_g , равной скорости подстилающего слоя. Будем предполагать, что скорость продольной волны в слое, подстилающем ЗМС, близка к постоянному значению.

В том случае, если источник погружен под ЗМС, статические поправки в источниках τ_s и приемниках τ_r определяются по классической формуле [2]

$$\tau_s = (h_p - h_c - h_0)/v_g; \tau_r = \tau_s + t_v. \quad (1)$$

Здесь h_p и h_c – альтитуда дневной поверхности и линии приведения соответственно.

Если заряд расположен в ЗМС, то при расчете статических поправок по формуле (1) возникают ошибки, которые назовем ошибками модели. В этом случае для корректного расчета статических поправок необходимо ввести в уравнение время пробега волны от источника до подошвы ЗМС и, следовательно, два неизвестных параметра: мощность h_z и скорость ЗМС v_z :

$$\tau_s = (h_z - h_c)/v_z + (h_p - h_z - h_0)/v_g.$$

В случае расположения заряда в ЗМС скорость в этом слое можно оценить по параметрам источника $v_z = h_z/t_v$. Но поскольку положение заряда относительно подошвы ЗМС неизвестно, то этим уравнением в общем случае определяется средняя скорость v_c двухслойной среды до забоя скважины, включающей ЗМС и подстилающую толщу. Выразим значение вертикального времени через параметры модели ВЧР:

$$\begin{aligned} 1. t_v &= h_z/v_z \quad (h_z > h_c). \\ 2. t_v &= h_z/v_z + (h_c - h_z)/v_g \quad (h_z < h_c). \end{aligned} \quad (2)$$

Регистрация преломленной волны от подошвы ЗМС позволяет для каждого источника запи-

сать уравнение годографа преломленной волны. Конкретный вид уравнения будет определяться положением заряда относительно подошвы ЗМС (рис. 1, а):

$$\begin{aligned} 1. t(l) &= (h_z - h_c)\cos i/v_z + h_z(l)\cos i/v_z + l/v_g = \\ &= t'_0 + l/v_g \quad (h_z > h_c). \\ 2. t(l) &= h_z(l)/v_z + l/v_g = t'_0 + l/v_g \quad (h_z < h_c). \end{aligned}$$

Вторая группа уравнений определяет значение параметра t'_0 преломленной волны:

$$\begin{aligned} 1. t'_0 &= (h_z - h_c)\cos i/v_z + h_z \cos i/v_z \quad (h_z > h_c). \\ 2. t'_0 &= h_z \cos i/v_z \quad (h_z < h_c). \end{aligned} \quad (3)$$

Как показано в работах [4, 5], совместное решение уравнений (2) и (3) позволяет оценить положение заряда относительно подошвы ЗМС и получить единственное решение задачи расчета статических поправок независимо от положения заряда. При погружении заряда под ЗМС используется формула (1), в противном случае для расчета статических поправок решается система двух уравнений (2) и (3) относительно двух неизвестных h_z и v_z .

Для оценки значения t'_0 в работах [4, 5] предлагается использовать корреляцию первых вступлений разрезов ОПВ, просуммированных на малой базе с учетом скорости преломленной волны. При освоении этого способа расчета в учебном процессе в СПГУ с использованием прикладного пакета RadexPro определен еще один способ решения указанной задачи, представляющий практический интерес.

Предположим, что скорость слоя под ЗМС известна по измерениям кажущейся скорости преломленной волны. При мощности ЗМС, как правило, не более 20 м на удалении ПП-ПВ > 20 м в первых вступлениях уже регистрируется преломленная волна (см. рис. 1, б).

Также предположим, что мощность ЗМС в ПВ и ПП при близком расстоянии между этими точками имеет одинаковое значение.

Составим выборку трасс с заданным удалением приемник – источник (разрез $l = \text{const}$). Для каждой трассы временного разреза источник находится на забое взрывных скважин, а приемник – на поверхности наблюдения (рис. 2, а).

Поправкой l/v_g приведем время вступления преломленной волны к значению t'_0 . Далее выполним интерполяцию значений t_v в точки ПП и введем в трассы поправки за ПП, равные $t_v \cos i$. С учетом уравнения (2) определим поправку через параметры модели среды

$$\begin{aligned} 1. t_v \cos i &= h_c \cos i/v_z \quad (h_z > h_c). \\ 2. t_v \cos i &= h_z \cos i/v_z + (h_c - h_z)\cos i/v_g \quad (h_z < h_c). \end{aligned}$$

При расположении заряда выше подошвы ЗМС поправка приводит пункт приема на линию забоя скважин, во втором – опускает ниже подошвы ЗМС.

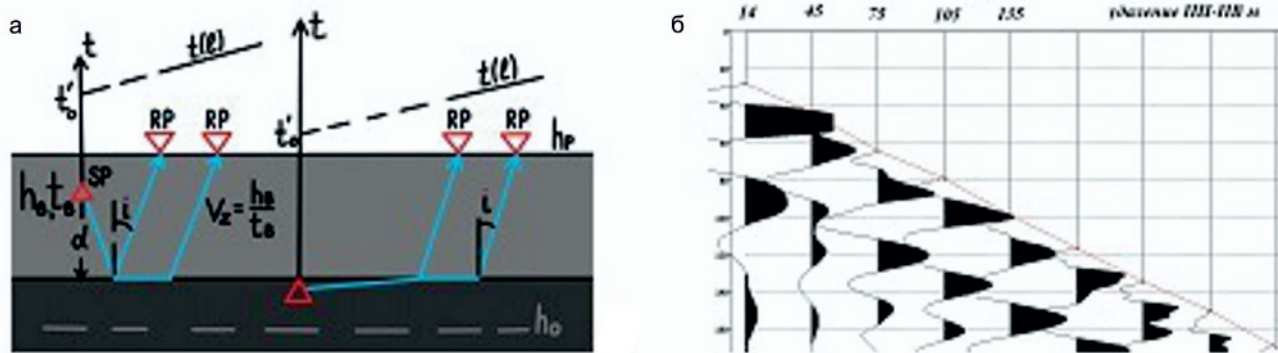


Рис. 1. Траектории лучей преломленной волны (а); преломленная волна на сейсмограмме ОПВ (б)

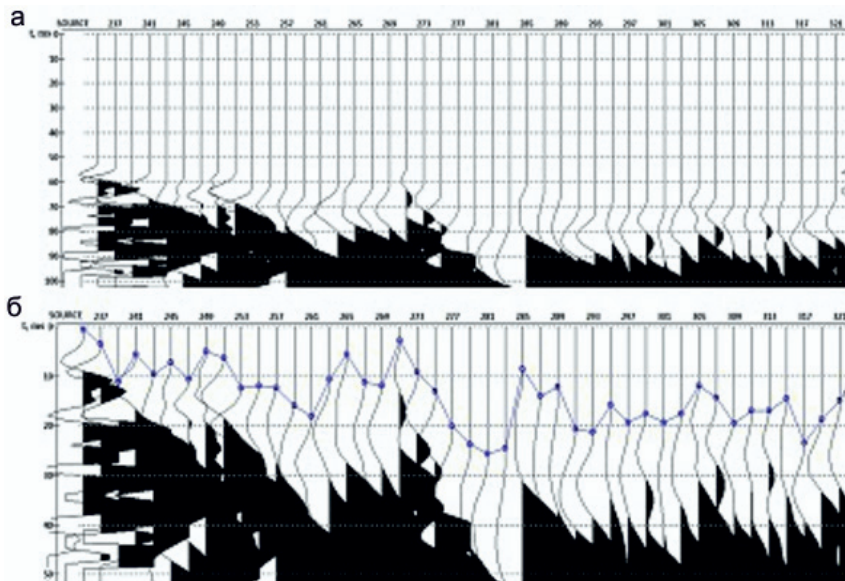


Рис. 2. Фрагмент временного разреза $l = \text{const} = 45$ м до (а) и после (б) пересчета на линию скважин

После ввода двух поправок значение времени вступления преломленной волны описывается выражениями

$$\begin{aligned}
 1. \tau &= t'_0 - t_v \cos i = 2(h_z - h_c \cos i) / v_z > 0 \quad (h_z > h_c). \\
 2. \tau &= t'_0 - t_v \cos i = 2(h_z - h_c \cos i) / v_z < 0 \quad (h_z < h_c).
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

В результате этого преобразования возможны два сценария: линия источников находится 1) выше подошвы ЗМС (рис. 3, а) или 2) ниже подошвы ЗМС $h_c > h_z$ (см. рис. 3, б). Согласно (4) признаком этого события является отрицательное значение параметра τ .

Результат преобразования разреза $l = \text{const}$ с линией корреляции первых вступлений τ представлен на рис. 2, б, а график параметра τ для всего профиля – на рис. 4, а.

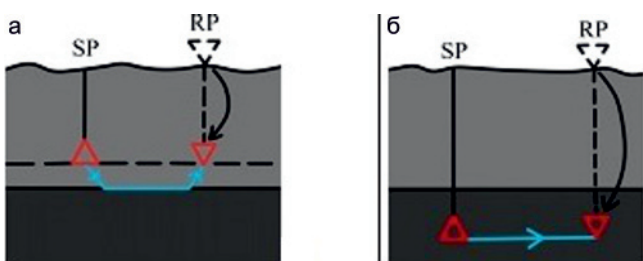


Рис. 3. Положение источников и приемников выше (а) или ниже (б) подошвы ЗМС после пересчета на линию скважин

При положительном значении параметра τ заряд расположен в ЗМС, глубина кровли ЗМС относительно линии источников $d_h = h_z - h_c$ определяется выражением

$$d_h = h_z - h_c = \tau v_z / 2 \cos i.$$

На рис. 4, б представлен график параметра d_h , характеризующий мощность ЗМС относительно линии, проходящей по забою взрывных скважин. Статические поправки за ПВ и ПП до линии приведения определяются уравнением

$$\tau_s = d_h / v_z + (h_p - h_z - d_h - h_0) / v_g \quad \tau_r = \tau_s + t_v.$$

Значение $\tau \leq 0$ определяет положение заряда ниже подошвы ЗМС, глубину которой также можно оценить, но это не представляет практического интереса, поскольку в данном случае влияние ЗМС полностью исключено значением вертикального времени и расчет статических поправок выполняется по формулам (1).

Из рис. 4, а, следует, что значение τ для всех ПВ профиля положительно. Соответственно, все заряды размещены в ЗМС либо (с учетом погрешности оценок) с небольшим превышением глубины ее подошвы. Согласно нашим предположениям (2), в этом случае отношение h_z / v_z должно определять скорость для отложений зоны малых скоростей.

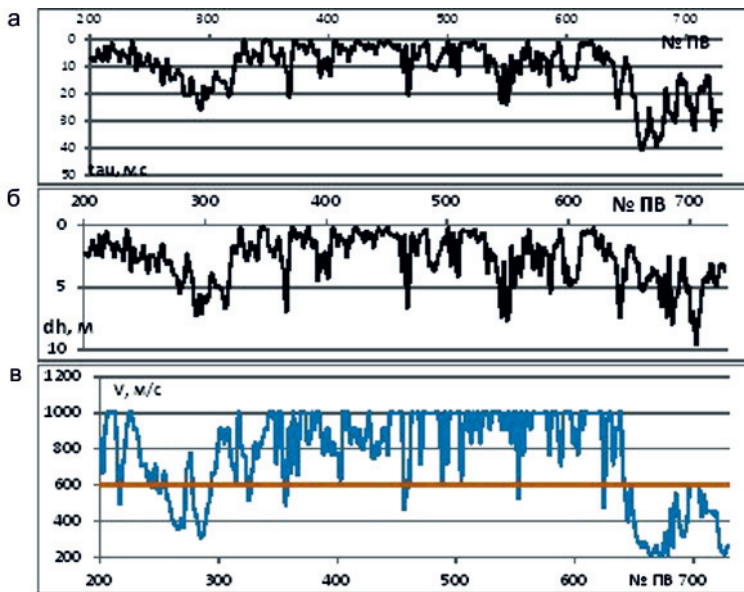


Рис. 4. График τ по линии профиля (а); глубина подошвы ЗМС относительно линии взрывных скважин (б); значения средней скорости до забоя взрывных скважин (в)

Практический опыт ограничивает значение скорости в ЗМС интервалом $\leq 700\text{--}800$ м/с.

На рис. 4, в представлен график распределения средней скорости до забоя взрывных скважин по тестовому профилю. Прежде всего обращает на себя внимание, что значение скорости «обрезано» сверху по уровню 1000 м/с, а это явное свидетельство человеческого фактора вследствие редакции параметров взрывных скважин.

Выскажем предположение, что с целью исключения скоростей, превышающих разумные значения, глубины скважин подвергались «логической фильтрации», результат которой и представлен на графике. Необходимость редакции данных обусловлена завышением глубины заложения заряда относительно фактических значений, что приводит к увеличению расчетной средней скорости.

Согласно полученным результатам заряды расположены в ЗМС, поэтому даже после редакции глубин значения скорости на большей части профиля остаются завышенными. Поэтому для расчетов применим еще один этап логической фильтрации, ограничив скорости в ЗМС сверху фоновым значением 600 м/с. Конечно, это нарушает принцип единственности решения задачи расчета статических поправок, но условия решаемой задачи не предполагают намеренных искажений исходных данных.

На рис. 5 представлены два варианта статических поправок за ПВ, рассчитанных стандартно по параметрам взрывных скважин и комбинированным способом. Максимальная разность поправок достигает 15 мс. С учетом поправок за ПП различие времен отражающих горизонтов на суммарных временных разрезах может достигать 30 мс.

Поскольку статические поправки должны устранять искажения гиперболичности годографов ОСТ, обусловленные неоднородностью ВЧР, эффективность решений должна проявиться при сравнении суммарных разрезов, полученных с двумя вариантами априорных статических поправок (рис. 6).



Рис. 5. Графики статических поправок, рассчитанных стандартным и комбинированным способами

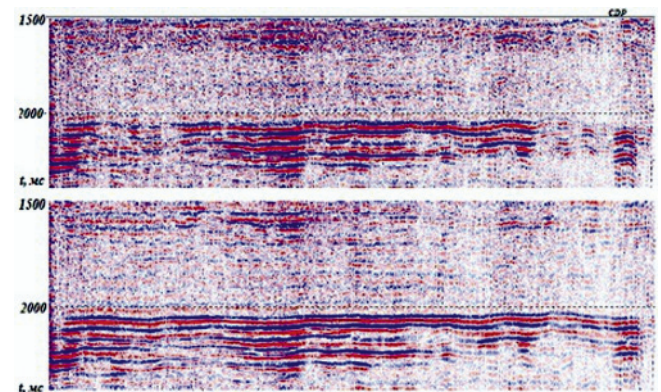


Рис. 6. Фрагмент временного разреза с априорными статическими поправками, рассчитанными стандартным (вверху) и комбинированным (внизу) способами

Вариант разреза с комбинированной статикой иллюстрирует очевидные преимущества: здесь уже на стадии предварительного суммирования обеспечивается непрерывное прослеживание опорного горизонта.

Выводы

Проблема достоверности оценки кинематических параметров волнового поля в методе отраженных волн непосредственно связана с вопросами единственности решения задач компенсации влияния поверхностных неоднородностей ВЧР. Зона малых скоростей является обязательной составляющей ВЧР, поэтому задача учета неоднородности ЗМС



всегда возникает и решается при обработке данных наземной сейсморазведки.

В настоящей работе предложен вариант реализации комбинированного способа, отличающийся высокой технологичностью и наглядностью представления результатов анализа. В силу этого он может применяться в процессе оперативного анализа данных в полевых условиях.

Рассмотренная теория решения задачи предусматривает минимальное использование данных сейсморазведки: по одной трассе из каждой сейсмограммы ОПВ, но исходя из предположения, что граничная скорость преломленной волны известна. Увеличение количества анализируемых трасс до двух и более позволяет включить граничную скорость в число параметров, определяемых в процессе решения.

Способ нетрудно адаптировать для анализа 3D данных, но с возможностью расчета статических поправок только в точках пересечения линий взрыва и приема. Теоретически этот набор точек достаточен для фиксации длиннопериодных составляющих статических поправок.

Важное значение в решении имеют параметры взрывных скважин, которые определяются вертикальным временем и глубиной заложения заряда. Первый параметр измеряется инструментально, второй декларируется взрывником. При отсутствии достаточного контроля за технологией выполнения буровзрывных работ завышения глубины заряда относительно фактического значения, к сожалению, проявляются часто и ограничивают возможности корректного решения оценки параметров ЗМС.

Авторы выражают признательность руководству компании Deco Geophysical за обеспечение учебного процесса геолого-разведочного факультета СПГУ программным пакетом RadexPro, что обеспечило выполнение настоящей работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бевзенко Ю. П., Долгих Ю. Н. Применение многоуровневой сейсморазведки для изучения и учета влияния ВЧР // VII Международная научно-практическая конференция, Геленджик, 2005. – URL: <http://www.geokniga.org/bookfiles/>

[geokniga-bevzenko-primeneniemnogourovnevoy-seysmorazvedki-dlya-izucheniya-i-uchyota.pdf](http://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-bevzenko-primeneniemnogourovnevoy-seysmorazvedki-dlya-izucheniya-i-uchyota.pdf).

2. Боганик Г. И., Гурвич И. И. Сейсморазведка. – Тверь: АИС, 2006. – 744 с.

3. Долгих Ю. Н. Многоуровневая сейсморазведка и кинематическая инверсия данных MOV-ОГТ в условиях неоднородной ВЧР. – М.: ЕАГЕ Геомодель, 2014. – 212 с.

4. Сысоев А. П. Прикладные задачи компенсации неоднородности верхней части разреза при обработке и интерпретации сейсмических данных. – Новосибирск: ИНГ СО РАН, 2011. – 92 с.

5. Сысоев А. П. Расчет статических поправок при совместной интерпретации времен вступления преломленной волны и прямой волны от скважинного источника возбуждения // Геофизика. – 2011. – № 1. – С. 27–32.

REFERENCES

1. Bevzenko Yu.P., Dolgikh Yu.N. [Application of multi-level seismic survey to study and account for the correction of NSS]. *VII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, Gelendzhik* [7th International Research and Practical Conference]. Gelendzhik, 2005. URL: <http://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-bevzenko-primeneniemnogourovnevoy-seysmorazvedki-dlya-izucheniya-i-uchyota.pdf>. (In Russ.).

2. Boganic G.I., Gurchich I.I. *Seysmorazvedka* [Seismic survey]. Tver, AIS Publ., 2006. 744 p. (In Russ.).

3. Dolgikh Yu.N. *Mnogourovnevaya seysmorazvedka i kinematicheskaya inversiya dannykh MOV-OGT v usloviyakh neodnorodnoy VChR* [Multi-level seismic imaging and kinematic inversion of CDP data in terms of heterogeneous near-surface layer]. Moscow. EAGE Geomodel Publ., 2014. 212 p. (In Russ.).

4. Sysoev A.P. *Prikladnyye zadachi kompensatsii neodnorodnosti verkhey chasti razreza pri obrabotke i interpretatsii seismicheskikh dannykh* [Applied problems of compensation heterogeneity of the upper part of the section in the processing and interpretation of seismic data]. Novosibirsk, IPGG RAS Publ., 2011. 92 p. (In Russ.).

5. Sysoev A.P. [The calculation of statics in a joint interpretation of the arrival times of the refracted wave and direct wave from the borehole excitation source]. *Geofizika – Geophysics*, 2011, no. 1, pp. 27–32. (In Russ.).

© А. П. Сысоев, А. А. Шамордин, 2022