



А. П. Сысоев
Д. Г. Лазутин
Т. В. Новикова

ОАО "СИБНЕФТЕГЕОФИЗИКА", НОВОСИБИРСК
ОАО "СИБНЕФТЕГЕОФИЗИКА", НОВОСИБИРСК
ОАО "СИБНЕФТЕГЕОФИЗИКА", НОВОСИБИРСК

СОВМЕСТНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ПРЕЛОМЛЁННЫХ ВОЛН И ПАРАМЕТРОВ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИН В СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ МОГТ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КОМПЕНСАЦИИ ЗМС

В работе рассматривается задача компенсации скоростной неоднородности верхней части разреза, которая представлена зоной малых скоростей и более высокоскоростной подстилающей толщей, на которой образуется устойчивая преломлённая волна. Для решения этой задачи при обработке данных МОГТ, полученных с взрывным источником возбуждения, традиционно предлагаются два метода:

1. Расчёт статических поправок до линии приведения (ЛП) с использованием значений вертикальных времён и глубин взрывных скважин (t_B , h_B). В том случае, если глубины заложения заряда больше мощности ЗМС и скорость в подстилающем слое до ЛП близка к постоянной, метод даёт надёжные результаты. При нарушении этих условий надёжный пересчёт поля возможен только на поверхность, соответствующую уровню взрывных скважин.

2. Определение статических поправок по данным метода преломлённых волн. Метод преломлённых волн позволяет оценить два параметра: граничную скорость и проекцию годографа в точку нулевого удаления (v_T , t'_0). Метод не позволяет определить значение скорости в ЗМС (v_3), поэтому неопределённость решения задачи оценки параметров ВЧР и её учёт связаны с неопределённостью в подборе этого параметра.

Традиционно при интерпретации данных преломлённых волн в сейсмограммы ОПВ вводится значение вертикального времени (t_B), после чего наблюдения считаются приведёнными к земной поверхности. Образует поверхность H_B (линию в случае профильных данных), проходящую по уровню забоя взрывных скважин*. Значения t_B в точках взрывных скважин после интерполяции на пункты приёма определяют функцию пересчёта

сейсмограмм ОПП на поверхность H_B . Будем считать, что после ввода поправок в сейсмограммы ОПП наблюдения приведены к поверхности H_B . В случае приведения к земной поверхности модель ВЧР представляется зоной малых скоростей и подстилающим слоем. При пересчёте к уровню H_B модель ВЧР определяется положением поверхности приведения в разрезе. Так, если глубины скважин превышают ЗМС, то ЗМС в новой модели поля отсутствует, в ином случае мощность ЗМС сокращена на уровень глубины взрывных скважин.

Пересчёт поля не согласуется с кинематикой преломлённых волн, поэтому важно оценить погрешности преобразования. Рассмотрим два случая: забой скважин расположен внутри ЗМС и возбуждение выполнено ниже подошвы ЗМС.

ВОЗБУЖДЕНИЕ В ЗМС

Время прохождения волны от источника до приёмника разобьём на три интервала: $t_l = t_{и} + t_T + t_{п}$, соответствующие временам прохождения от источника до границы, скольжения вдоль преломляющей границы и времени распространения волны от границы до точки приёма. Если пересчитать годограф в точку приёма, расположенную ниже земной поверхности на h_B , то изменится кинематика только последнего фрагмента пути $t_{п}$. Величина поправки пересчёта определится выражением:

$$\tau = t_B \cos(\alpha),$$

где угол α определяется отношением скоростей на подошве ЗМС: $\sin(\alpha) = v_3 / v_T$. Если пересчёт выполнять по вертикальному времени t_B , то значение параметра преломлённой волны t'_0 будет смещено на величину $Err(\tau) = t_B (\cos(\alpha) - 1)$. Ошибка в определении t'_0 имеет место как при пересчёте поля вниз (на линию взрывных скважин), так и вверх - на земную поверхность, разли-

* Спасский Б. А., Митюнина И. Ю., Герасимова И. Ю. и др., 2009, Учёт верхней части разреза в сейсморазведке отражёнными волнами при работах в условиях непромерзающих болот: Геофизика, 1.

чие состоит только в знаке ошибки. При практическом использовании метода это обстоятельство не принимается во внимание. Ясно, что ошибку можно уменьшить, если ввести параметр, характеризующий априорное отношение скоростей v_3/v_1 .

Таким образом, если возбуждение выполнено внутри ЗМС и, соответственно, внутри ЗМС расположена поверхность приведения поля, то после пересчёта поля на поверхность H_B решается стандартная задача МПВ по оценке параметров двухслойной модели среды. Критерием того, что поверхность H_B расположена над подошвой ЗМС, является значение параметра $t'_0 > 0$. Поскольку при выполнении этого критерия возбуждение выполнено в ЗМС, то средняя скорость от земной поверхности до забоя взрывной скважины можно считать оценкой скорости в ЗМС: $v_3 = h_B/t_B$. Таким образом, задача интерпретации преломлённых волн становится полностью определённой.

ВОЗБУЖДЕНИЕ НИЖЕ ПОДОШВЫ ЗМС

Если источники возбуждения и, соответственно, поверхность приведения H_B , расположены ниже подошвы ЗМС, волна от источников до приёмников, расположенных на этой поверхности, будет распространяться как прямая волна со скоростью v_1 . Проекция годографа на нулевое удаление будет равна нулю: $t'_0 = 0$. Для приведения наблюдаемого годографа к теоретической форме достаточно пересчитать годограф в точку приёма, расположенную на подошве ЗМС, для чего необходимо ввести временную поправку в годограф, равную $\tau = h_3/v_3 \cos \alpha$. Здесь h_3 - мощность ЗМС. Поскольку источник находится ниже подошвы ЗМС ($h_B > h_3$), то заведомо поправка, определяемая по вертикальному времени, даже с учётом априорного значения критического угла α , будет больше теоретически необходимой:

$$t_B > t_B \cos \alpha > h_3 / v_3 \cos \alpha.$$

Отсюда следует, что после пересчёта волнового поля на поверхность H_B значение параметра $t'_0 < 0$. Выполнение этого условия является признаком того, что поверхность H_B находится ниже подошвы ЗМС, тем самым задача исключения ЗМС однозначно решена.

ВЛИЯНИЕ ОШИБОК В ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Исходными данными в рассматриваемой задаче являются: значения вертикальных времен в источнике (t_B) и значения глубин погружения заряда (h_B).

Значения t_B получают в результате инструментальных измерений, ошибки здесь возможны только в случае неисправности полевого оборудования и должны быть выявлены при тестировании оборудования. Значения глубин скважин записываются исполнителями работ и при ненадлежащем контроле имеют тенденцию к завышению. Аппаратурный контроль за глубиной заложения

заряда и определение достоверных значений этого параметра является предметом специальных наблюдений, развиваемых в работах Ю. П. Бевзенко. Но поскольку проведение этого вида работ является редким событием, имеет смысл получить оценки, характеризующие влияние ошибок глубины заложения заряда на расчётные статические поправки.

Пусть δ характеризует ошибку глубины скважины. Указанная в рапорте глубина заложения заряда h_{HB} будет представлена суммой истинного значения и погрешности, обусловленной всплыванием заряда или банальной "припиской": $h_{HB} = h_B + \delta$. При использовании описанной выше методики расчёта статических поправок способ расчёта будет различен для источников, расположенных в ЗМС и ниже её подошвы.

При возбуждении ниже подошвы ЗМС погрешность суммарной статической поправки для приёмников и источников будет определяться ошибкой расчёта интервала "источник - линия приведения":

$$Err(\tau) = 2\delta / v_1.$$

Так, например, при ошибке 3 м и скорости в подстилающей толще 1600 м/с ошибка в оценке вертикальных времён отражённых волн составит 3,8 мс. Если ошибка не является постоянной величиной, то её вклад в решение структурных задач будет уже заметен.

При возбуждении внутри ЗМС погрешность определения суммарной статической поправки определится выражением:

$$Err(\tau) = \frac{2\delta}{v_1} \left(1 + \frac{t'_0}{2t_B \cos \alpha} \right) \approx \frac{2\delta}{v_1} \left(1 + \frac{t_d}{t_B} \right).$$

Здесь t_d - значение времени пробега волны от забоя скважины до подошвы ЗМС ($t_d + t_B$ определяет полное время пробега в ЗМС). При размещении заряда в ЗМС влияние ошибки в значении глубины скважины больше, чем при погружении заряда под ЗМС. Так, в продолжение ранее приведённого примера, если отношение $t_d/t_B = 1$, то погрешность суммарной статической поправки увеличится до 7,5 мс.

ПРИМЕР ОБРАБОТКИ РЕАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Предложенный способ анализа данных и расчёта априорных статических поправок рассмотрим на примере профиля, отработанного на территории Томской области. Профиль отработан взрывным источником возбуждения с постоянной глубиной скважин, равной 12 м (по рапортам оператора). На рис. 1 показан рельеф земной поверхности ($H_Г$) и поверхность H_B , проходящая по отметкам забоя скважин. Понятно, что при постоянной глубине скважин эти поверхности параллельны.

На рис. 2 представлен график вертикальных времён взрывных скважин t_B . Для приведения наблюдений на уровень H_B в сейсмограммы ОПП введены статические

поправки, определяемые как $0,95t_B$. Коэффициент 0,95 определён по априорным представлениям о соотношении скоростей в ЗМС и подстилающей толще. После пересчёта на уровень H_B в приложении SDITR (CGG Veritas) выполнены обработка и оценка параметров преломленной волны ($t'_0/2$), прослеживаемой в первых вступлениях на удалении 50 - 500 м. Из графика параметра $t'_0/2$ преломлённой волны, представленного на рис. 2, следует, что только на отдельных участках второй половины профиля выполняется неравенство $t'_0/2 \leq 0$,

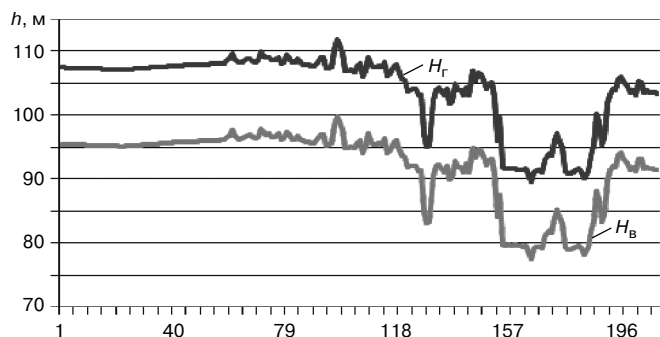


Рис. 1. Рельеф земной поверхности (H_r) и линия забоя скважин (H_b)

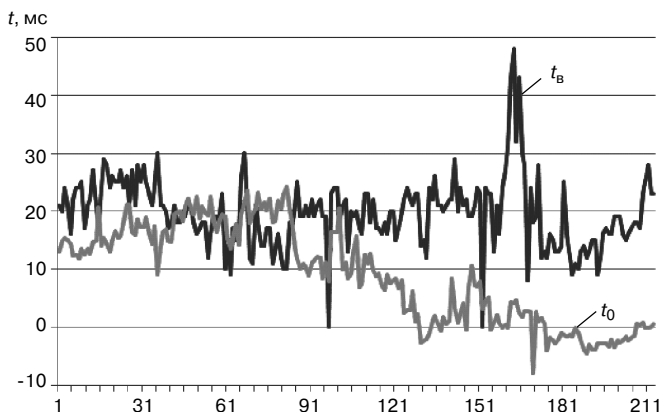


Рис. 2. Графики вертикальных времен ПВ (t_B) и параметра $t'_0/2$ преломлённой волны (t_0)

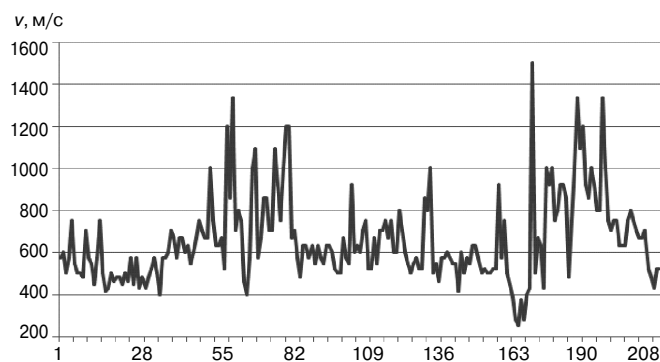


Рис. 3. График средней скорости до устья взрывных скважин

что соответствует расположению зарядов на уровне или ниже подошвы ЗМС. На большей части профиля значение $t'_0/2$ значительно больше нуля, т. е. возбуждение выполнено в зоне малых скоростей. Для дальнейшей обработки данные $t'_0/2$ подвергнуты логической фильтрации - все отрицательные значения обнулены.

На рис. 3 представлен график средней скорости от поверхности до забоя скважины, полученный делением её глубины на значение вертикального времени. Повышенные значения на конце профиля объяснимы, так как заряды погружены в ЗМС, и отображаются средние скорости двухслойной среды. Значения скорости в точках наблюдения с признаком $t'_0/2 \leq 0$ нас не интересуют, поскольку ЗМС здесь полностью исключена при пересчёте на линию забоя скважин. В интервале профиля с условными координатами 55 - 82 отмечены аномально высокие значения скорости (до 1300 м/с), при том, что забой скважин определён внутри ЗМС. По результатам анализа представительной выборки данных МСК известно, что значения скорости в ЗМС не превышают 700 м/с. Поэтому значения скорости более 800 м/с, отмечаемые в интервале 55-82 оси абсцисс, можно объяснить завышенными, относительно фактических, значениями глубин скважин. Следовательно, значения средних скоростей ограничим уровнем 800 м/с. Полученные значения скорости будем считать скоростью в ЗМС.

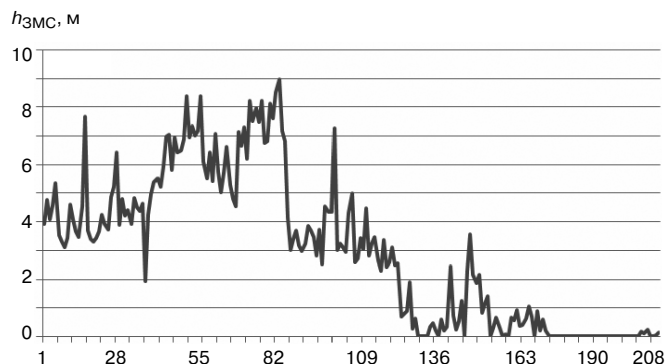


Рис. 4. Мощность ЗМС от уровня забоя взрывных скважин

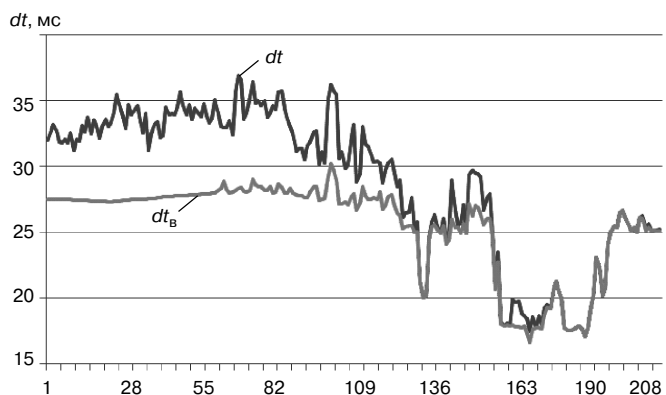


Рис. 5. Статические поправки ПВ, ПП от уровня забоя взрывных скважин, рассчитанные по скважинным данным (dt_B) и на основе преломлённых волн (dt)

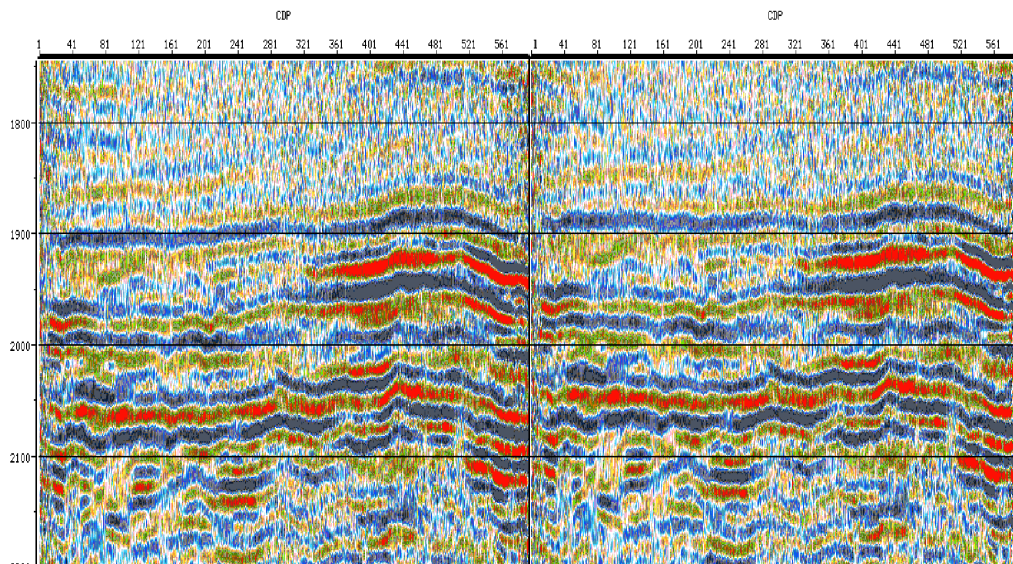


Рис. 6. Временной разрез с различными вариантами априорной статистики:
 а - по h и t_b взрывных скважин;
 б - по преломлённым волнам

На рис. 4 представлен график мощности ЗМС от уровня поверхности H_B . Здесь нулевые значения соответствуют скважинам, вскрывшим ЗМС на всю мощность. На рис. 5 представлены два графика статических поправок от уровня H_B . График dt получен на основе интерпретации преломлённых волн, dt_b соответствует способу расчёта с использованием только вертикальных времён и глубин скважин. Совпадение графиков определяет участки профиля с оптимальным погружением заряда. В области так называемых “недобуров” расхождение статических поправок только по одному фактору (ПВ, ПП) достигает 10 мс, что соответствует расхождению в 20 мс осей синфазности отражающих горизонтов на временных разрезах (рис. 6).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. При обработке преломлённых волн от скважинных (заглублённых) источников возбуждения использован способ пересчёта поля на поверхность (линию), которая описывается значениями глубин источников. В результате пересчёта знак параметра t'_0 преломлённой волны определяет положение источника отно-

сительно подошвы ЗМС. Положительное значение t'_0 определяет, что источник расположен выше кровли ЗМС, при этом отношение глубины скважины к вертикальному времени источника будет определять скорость в ЗМС. В области отрицательных значений t'_0 скорость в ЗМС не имеет значения, поскольку не участвует в расчётах. Таким образом, при обработке данных преломлённых волн от заглублённых источников получена система данных, полностью определяющая решение задачи расчёта априорных статических поправок.

В рамках предложенного способа реализуется система контроля оптимальности глубины заложения заряда, и сделаны оценки погрешностей расчёта статических поправок, обусловленные расхождением фактической и указанной в рапортах оператора глубиной заложения заряда. Точное определение глубин скважин является важным фактором повышения точности структурных построений, поэтому допустимая погрешность высотной привязки очагов возбуждения должна являться необходимым элементом технического задания на производство сейсмических работ.

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Анатолий Петрович СЫСОЕВ - начальник ГЭЦОИ ОАО “Сибнефтегеофизика”, доктор техн. наук.

Дмитрий Германович ЛАЗУТИН - главный геофизик партии цифровой обработки ГЭЦОИ ОАО “Сибнефтегеофизика”.

Татьяна Валерьевна НОВИКОВА - геофизик партии цифровой обработки ГЭЦОИ ОАО “Сибнефтегеофизика”.