

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Импульсный пороховой источник упругих колебаний: пат. 2439620 Рос. Федерация: МПК G 01 V 1/116 (2006.01) / Санфиоров И.А., Ярославцев А.Г., Ахматов А.Е., Бабкин А.И., Голдобин А.А., Миньков С.И.; патентообладатель ГИ УрО РАН. – № 2010124548/28. заявл. 15.06.2010; опубл. 10.01.2012. – Бюл. № 1.
2. Санфиоров И.А., Ярославцев А.Г., Жикин А.А., Фатькин К.Б., Байбакова Т.В. Выделение малоглубинных природно-техногенных неоднородностей породного массива в различных реализациях интерференционного поля отраженных волн // Геофизика. – 2017. – № 5. – С. 56-63.
3. Санфиоров И.А., Прийма Г.Ю. Интерактивная сейсморазведка на геомеханически проблемных участках соляных рудников // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 14 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2016. – С. 198-202.
4. Барях А.А., Санфиоров И.А., Федосеев А.К., Бабкин А.И., Цаюков А.А. Сейсмо-геомеханический прогноз состояния водозащитной толщи на калийных рудниках // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2017. – № 6. – С. 10-22.
5. Санфиоров И.А., Бабкин А.И., Байбакова Т.В. Сейсмоакустическое профилирование МОГТ в скважинах // Инженерная геофизика 2017: материалы 13-й науч.-практ. конф. и выставки. – Кисловодск, 2017. – DOI 10.3997/2214-4609.201700420.

УДК 550.8.05

DOI:10.7242/echo.2019.3.14

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМА УЧЕТА СКОРОСТНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ПРИ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ МАЛОГЛУБИННОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

М.В. ТАРАНТИН

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Рассматривается алгоритм определения скоростей суммирования сейсмических волн и недостатки его классической реализации на примере малоглубинных исследований в условиях Верхнекамского месторождения солей. Предложен ряд его модификаций для повышения информативности и достоверности получаемых результатов. Приведены примеры их использования.

Ключевые слова: цифровая обработка, скоростные неоднородности, малоглубинная сейсморазведка.

Кинематическая интерпретация данных малоглубинной сейсморазведки, выполняемой в условиях ВКМКС [1], базируется на алгоритме поиска максимальной когерентности волновых пакетов, известной также как «*Semblance*» [2]. Можно отметить, что алгоритм постоянно модернизируется и совершенствуется [3-5], что способствует обнаружению отражений с большей надежностью и однозначностью.

В общем случае реализация алгоритма *semblance* предполагает нахождение скоростей распространения волн ($V_{огт}$) для каждого времени (t_0), которые обеспечивают максимальную суммарную когерентность пакетов отражений в пределах зарегистрированных сейсмограмм. Для ускорения процесса обработки на скоростной интервал накладываются определенные ограничения. Также это предполагает некоторое снижение погрешности определения скоростей.

Однако, как показывает практика, в случае недостаточной когерентности отраженных волн, результат может оказываться неустойчивым. Неустойчивость проявляется в физически невозможных различиях получаемых скоростей при переходе от одной точки профиля к соседней на выбранном времени и при переходе к соседнему времени в пределах одной сейсмограммы (рис. 1 а, кривая V_1). Для дальнейшего использования результаты необходимо регуляризовать, привести в согласие с теоретическими и практическими ожиданиями.

Для приведения результатов вычислений к пригодному для интерпретации виду был разработан алгоритм регуляризации [6], основной целью которого является уменьшение влияния интервалов понижения скорости с глубиной. Такие интервалы являются аномальными, так как согласно общей теории, для реальных сред скорости суммирования должны увеличиваться с глубиной. При значительных отрицательных градиентах определение интервальных скоростей распространения волн согласно выражению Урупова-Дикса [7] оказывается невозможным.

При построении функции когерентности используется скользящее временное окно, причем шаг окна существенно меньше его длины. Таким образом, одно волновое отражение охватывается сразу несколькими окнами и потому на результирующем поле представ-

ляется пятном, а не одной точкой. Оператор при ручном выборе скоростного закона интерпретирует такое пятно как одну точку, соответствующую отражающей границе; текущая версия применяемого алгоритма – «увидит» несколько. Этот факт частично является причиной описанной ранее неустойчивости получаемых результатов. Каждая сейсмограмма (каждый пикет) формирует уникальную последовательность таких точек, и между собой они не будут похожи. Но наибольшую неустойчивость вносят участки с небольшими значениями функции когерентности, присутствующие между «основными» максимумами и соответствующие небольшим, неярким или ложным отражениям.

В связи с этим логичным представляется выделять лишь те точки скоростного спектра, которые с точки зрения оператора могут соответствовать отражениям, то есть являются двумерными максимумами функции когерентности (рис. 1 (а), кривая V_{2d} соединяет такие точки). Как правило, это точки с наибольшими значениями функции. Ввиду того, что положение основных отражающих границ во времени относительно стабильно, следует ожидать того же и от получаемых скоростных законов.

Приведенная на рис. 1 (б) кривая R_{max} максимальной когерентности построена по точкам максимумов функции когерентности на каждом времени и характеризует достоверность определяемых параметров отражающей границы. Использование таких кривых позволяет в дальнейшем выбирать те пикеты или участки профиля (рис. 1 (в)), которые, будучи обработаны вручную, дают наиболее адекватные кинематические поправки.

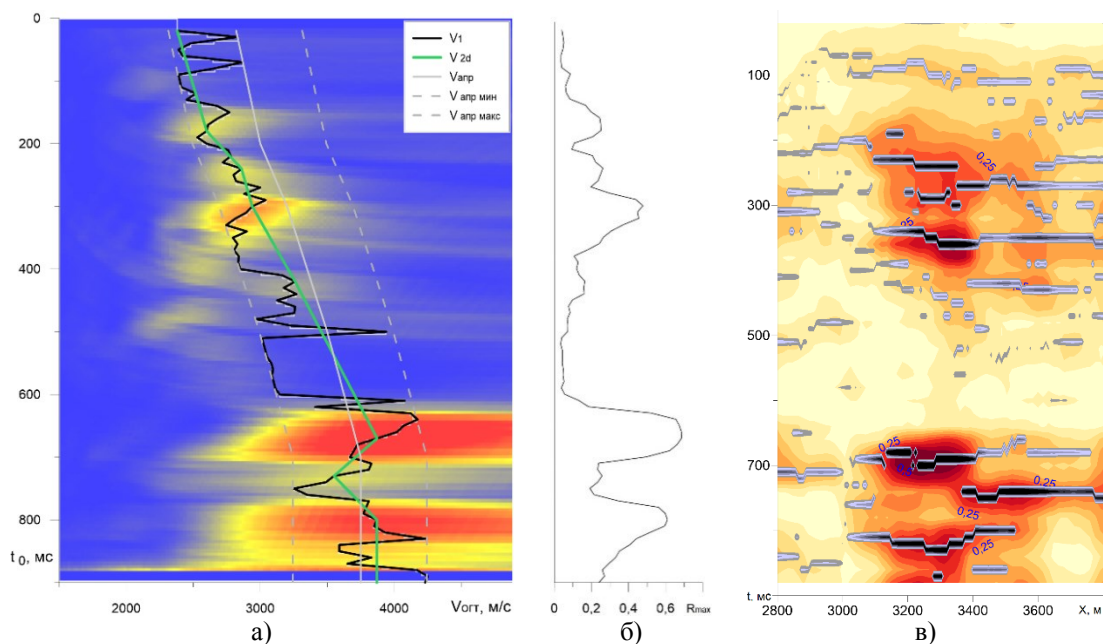


Рис. 1. а) – пример скоростного спектра и определяемых по нему скоростных законов; б) – кривая максимальной когерентности; в) – фрагмент карты когерентности и достоверности параметров отражений

Анализ работы алгоритма определения скоростей с имеющимися данными показал зависимость результатов его работы от качества исходных материалов, в частности, от степени зашумленности входных трасс. В соответствии с теорией промежуточный результат (собственно величина когерентности) содержит количественные значения, также зависящие от качества исходных данных. Явным осям синфазности на сейсмограмме соответствуют наибольшие ее значения, четко локализованные на спектре, а плохо видимым – малые. Принимая во внимание, что когерентность для всех точек вычисляется единообразно, а ее значения варьируются от 0 до 1, мы можем использовать ее в качестве весовых коэффициентов при статистической обработке результатов расчета скорости. Это относится и к применяемым осреднениям в скользящем окне, и к разработанному алгоритму регуляризации. При таком подходе большая опора будет производиться на значения скорости с большей величиной когерентности, когда соответствующие волновые пакеты четче выражены на сейсмограмме. В результате повысится достоверность получаемых закономерностей и интерпретационных выводов.

На рис. 2 приведен фрагмент временного разреза, полученного с учетом весовых коэффициентов в скоростном законе. Как видно, это способствует повышению видимого контраста волновой картины и лучшему прослеживанию осей синфазности отраженных сигналов; особенно это проявляется на небольших временах.

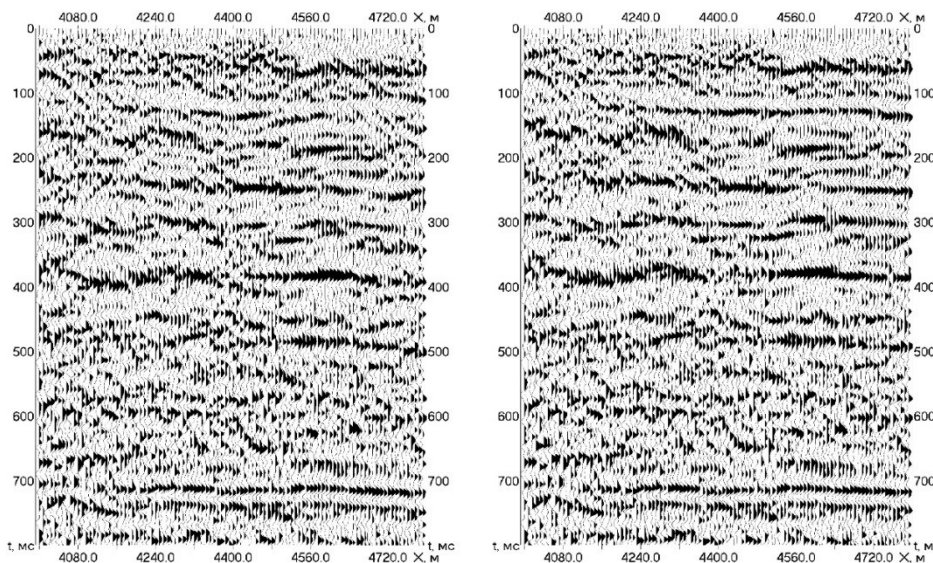


Рис. 2. Фрагменты временных разрезов, полученных без использования весовых коэффициентов в скоростных законах (слева) и при их учете (справа)

Полевые материалы малоглубинной сейсморазведки не всегда имеют качество, достаточное для прямого построения информативного скоростного спектра. Обычно эта проблема решается суммированием соседних сейсмограмм и построением так называемой «суперсейсмограммы». С одной стороны это повышает отношение сигнал/помеха на отдельных трассах, с другой – увеличивает базу наблюдений, добавляя большие удаления «источник-приемник». Однако, трассы на таких добавочных удалениях имеют пониженный уровень полезного сигнала, и потому вносят дополнительные погрешности в вычисляемый скоростной спектр. Согласно одним исследованиям [8], такие трассы рекомендуется игнорировать при вычислении скоростных спектров сейсмограмм, как чрезмерно увеличивающие длину годографа и потому понижающие точность определения скорости (о чем будет сказано чуть ниже); другие же, наоборот, отдают им предпочтение [9], как наиболее чувствительным к изменениям скорости и свободным от волн-помех.

Следует учитывать, что реальный годограф может быть представлен бесконечным рядом типа (1), а при вычислениях аппроксимируется гиперболой (2). Определяемый по (2) параметр $V_{огт}$ может использоваться вместо V_e для ввода кинематических поправок только при относительно малых l . Исследования показывают [10], что это условие соответствует отношению длины расстановки (L) к предполагаемой глубине отражающей границы (H) менее 0,8.

$$t^2(l) = t_0^2 + V_e^{-2}l^2 + c_2l^4 + c_3l^6 + \dots \quad (1)$$

$$t^2(l) = t_0^2 + V_{огт}^{-2}l^2 \quad (2)$$

При сейсмических исследованиях малых глубин временной и глубинный интервалы таковы, что информативная часть записи на больших удалениях от источника не содержит достоверных волновых сигналов. По этой причине мы, вслед за авторами [8, 10], склонны использовать их лишь для обработки отражений на больших временах и глубинах, когда параметр l в (2) становится мал.

В определенных сейсмогеологических условиях такой подход позволяет повысить достоверность скоростного анализа. Особенно это заметно при появлении в разрезе протяженных во времени скоростных аномалий. Примером может служить исследование цилиндра ледопородного ограждения при строительстве шахтного ствола (рис. 3). В интервале пикетов 60 – 70 ожидается влияние заморозки грунта и повышение скоростей упругих волн в протяженном временном интервале (до 150 мс). Из рисунка видно, что скорости, вычисленные с учетом величины L/H , выглядят более адекватными физико-геологической модели среды.

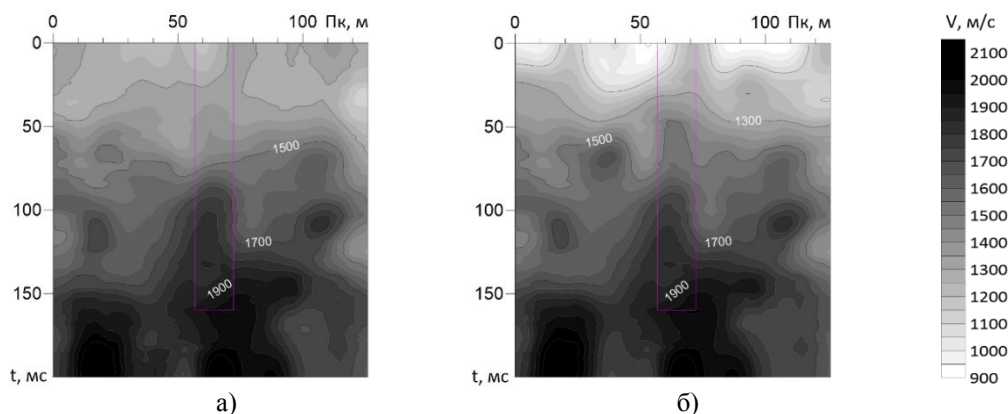


Рис. 3. Результаты определения скоростей вдоль профиля вблизи строящегося шахтного ствола без учета геометрического отношения (а) и для отношения менее 0,75 (б). Интервал действия скважин заморозки показан прямоугольником

Таким образом, для повышения точности скоростного анализа предлагается использовать коэффициенты скоростного спектра в качестве весовых множителей при построении распределений эффективных скоростей. Кроме этого, скоростной анализ целесообразно проводить с учетом отношения длины годографа к ожидаемой глубине отражения (L/H).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Санфиров И.А., Жикин А.А., Ярославцев А.Г., Бабкин А.И. Идеи А.К. Урупова в скоростном анализе данных малоглубинной сейсморазведки // Геофизика. – 2013. – № 5. – С. 12-16.
2. Neidell N.S., Taner M.T. Semblance and other similarity measurements // Geophysics. – 1971. – № 36(3). – P. 482-497.
3. Fomel S. Velocity analysis using AB semblance // Geophysical Prospecting. – 2009. – № 57. – P. 311-321. DOI: 10.1111/j.1365-2478.2008.00741.x.
4. Gan S., Wang S., Chen Y., Qu S., Zu S. Velocity analysis of simultaneous-source data using high-resolution semblance – coping with the strong noise // Geophysical Journal International. – 2016. – V. 204, № 2. – P. 768-779.
5. Deng P., Chen Y., Zhang Y., Zhou H-W. Weighted stacking of seismic AVO data using hybrid AB semblance and local similarity // Journal of Geophysics and Engineering. – 2016. – V. 13, № 2. – P. 152-163. DOI: 10.1088/1742-2132/13/2/152.
6. Пригара А.М. Прогноз строения и свойств горного массива на основе сейсмомоделирования: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.16: защищена 28.11.03 / Пригара Андрей Михайлович. – Пермь, 2003. – 140 с.
7. Урупов А.К., Левин А.Н. Определение и интерпретация скоростей в методе отраженных волн. – М., Недра, 1985. – 288 с.: ил.
8. Маловичко А.А. Новое представление годографа отраженных волн для горизонтально-слоистых сред // Прикладная геофизика. Вып. 91. – М., 1978. – С. 47-53.
9. Luo S., Hale D. Velocity analysis using weighted semblance // Geophysics. – 2012. – V. 77, № 2. – P. U15 - U22. DOI: 10.1190/geo2011-0034.1.
10. Бляс Э.А. Новый взгляд на скорости ОГТ в слоистых латерально-неоднородных средах: аналитическое и численное исследование // Технологии сейсморазведки. – 2005. – № 3. – С. 7-25.

УДК 550.8.05

DOI:10.7242/echo.2019.3.15

ОТРАЖЕНИЕ ЛЕДОПОРОДНОГО ОГРАЖДЕНИЯ СТВОЛОВ В СЕЙСМИЧЕСКОМ ВОЛНОВОМ ПОЛЕ

А.Г. ЯРОСЛАВЦЕВ

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Рассматривается возможность использования сейсмоакустических методов для контроля толщины ледопородного ограждения на различных стадиях строительства шахтных стволов. Приводится методическое обоснование реализации технологии сейсмоакустического просвечивания замороженной части массива с использованием отраженных волн. Сейсмоакустическое профилирование по технологии общей глубинной точки (скважинное ОГТ) предлагается проводить в специальной контрольно-термометрической скважине, пробуренной с внешней стороны контура заморозки. В сравнении с известными ультразвуковыми методами, основным техническим результатом предлагаемых технологий является снижение трудозатрат и повышение надежности определения толщины промерзания породного массива.

Ключевые слова: контроль ледопородного ограждения, шахтные стволы, сейсмоакустика, скважинное просвечивание, инженерная сейсморазведка.