



Ю. А. Степченко
А. В. Решетников
И. А. Гирман

ООО "УНИС", САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
ООО "ГЕОБЕРС", МОСКВА
ООО "УНИС", САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СКОРОСТНОЙ МОДЕЛИ СРЕДЫ ПО ДАННЫМ 2D-ВСП

АННОТАЦИЯ. Рассматриваются вопросы восстановления параметров скоростной модели среды с гладкими отражающими границами. Исходными данными являются годографы прямых, отражённых и обменных волн, возбуждаемых многими источниками ВСП. Параметры модели подбираются при помощи оптимизационной инверсии годографов, определяются скорости и вертикальные градиенты скоростей продольных и поперечных волн, геометрия отражающих границ представляется в виде сплайнов со сглаживанием. Используемые в процессе оптимизации модельные годографы вычисляются при помощи лучевого метода. Представленный алгоритм показал хорошие результаты в численном эксперименте.

ВВЕДЕНИЕ. Для определения параметров среды в современной сейсморазведке широко применяются методы обращённого годографа. Ограниченность апертуры метода ВСП не позволяет строить адекватные модели среды на больших удалениях от скважины, а также при сложном строении верхней части разреза [3]. Использование системы наблюдений с большим числом источников сейсмических волн на поверхности позволяет значительно расширить область моделирования, а также улучшить достоверность искомых параметров.

В настоящей статье представлен метод решения обратной кинематической задачи в системе наблюдения 2D-ВСП. В результате восстанавливаются скорости и вертикальные градиенты скоростей распространения продольных и поперечных волн, а также геометрия отражающих границ модели среды. Границы описываются интерполяционными базисными сплайнами со сглаживанием, а их форма подбирается при помощи вариации положения узлов. Исходными данными задачи являются годографы прямых, отражённых и обменных волн, а также начальная разбивка пластов на скважине.

Восстановление параметров двумерной среды осуществляется в несколько этапов. Прежде всего по разбивке на скважине и годографам прямых волн строится началь-

U. A. Stepchenkov, A. V. Reshetnikov, I. A. Girman. Velocity model parameters estimation from 2D VSP DATA.

ABSTRACT. This paper deals with velocity model parameters estimation in case of smooth curvilinear reflective boundaries. Parameters approximation is guided with optimizing inversion of hodographs of direct, reflected and converted waves from different VSP sources. Velocities of pressure and share waves and its vertical gradients are determined. Reflective boundaries geometry is described by smooth splines. Model hodographs are calculated using ray tracing method. The optimizing inversion algorithm showed good results in numerical tests.

ное приближение в виде горизонтально-слоистой модели с постоянными скоростями в каждом слое. Далее по полученному начальному приближению проводится корреляция отражённых волн и по годографам отражённых и обменных волн подбирается геометрия сейсмических границ в виде полиномов невысокой степени, при этом уточняются скорости и градиенты скоростей P - и S -волн в каждом слое. После этого отражающие границы перестраиваются из полиномов в сплайны, и осуществляется подбор оптимального положения узлов. В подборе участвуют годографы отражённых волн, после изменения формы границы параметры в слоях уточняются [4].

ОПИСАНИЕ МЕТОДА

Решение прямой задачи. Вычисление модельных годографов для разных типов волн осуществляется решением прямой кинематической задачи лучевым методом для неоднородной упругой среды [2]. Предполагается, что среда имеет конечное число гладких отражающих границ, а в каждом пласте параметры описываются аналитическими функциями координат. Приёмники сейсмических

волн располагаются на скважине; форма скважины представляет собой кривую, однозначную по координате z (глубине). Алгоритм определения времён прихода состоит из трёх основных этапов: локализация скважины, получение набора интерполяционных точек времён в зависимости от угла выхода луча из источника и вычисление времён в каждом приёмнике (где это возможно) [4]. В некоторых ситуациях не удаётся вычислить времена прихода лучей в ряд приёмников. Такие приёмники расположены в зоне тени, они особым образом помечаются, а соответствующие времена на исходном годографе не учитываются.

Построение начального приближения. Первым этапом обратной задачи является построение начального приближения скоростной модели среды с постоянными скоростями и плоскими границами раздела. Для этого используется аппроксимация прямой волны ломаной линией с точками излома в местах разбивки пластов на скважине [4]. Аппроксимация проводится таким образом, чтобы обеспечить наименьшее отклонение ломаной от точек времён прихода прямой волны в сейсмоприёмники. Задача построения ломаной сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений. В случае присутствия нескольких годографов от разных источников такая процедура проводится для каждого из них, а затем результат усредняется с весовыми коэффициентами. Веса характеризуют вклад соответствующего годо-

графа в результирующие скорости модели начального приближения.

Подбор параметров модели. После построения начального приближения осуществляются подбор геометрии отражающих границ модели в представлении полиномов (не больше четвертой степени), а также уточнение скоростей и градиентов скоростей продольных и поперечных волн. Этот процесс сводится к минимизации среднеквадратичных невязок вида [4]

$$\Phi_{\vec{w}}(\vec{p}) = \sum_{i=0}^N \rho_i \sum_{j=0}^M (t_{ij}^{(\vec{w})}(\vec{p}) - \tau_{ij}^{(\vec{w})})^2. \quad (1)$$

Здесь использованы следующие обозначения: w - набор волн разных типов, по которым вычисляется невязка (прямые, отражённые и обменные от различных границ модели); p - набор параметров модели среды, которые подбираются в процессе минимизации (скорости в слоях, коэффициенты полиномов границ и т. д.); N - число источников волн; M - число сейсмоприёмников; ρ_i - вес i -го годографа; t - модельные времена прихода, вычисляемые в результате решения прямой задачи; τ - исходные времена прихода. Для минимизации невязок (1) применяется алгоритм Хука-Дживса [1], модифицированный на случай двухсторонних ограничений, так как все параметры модели имеют заданную область допустимых значений.

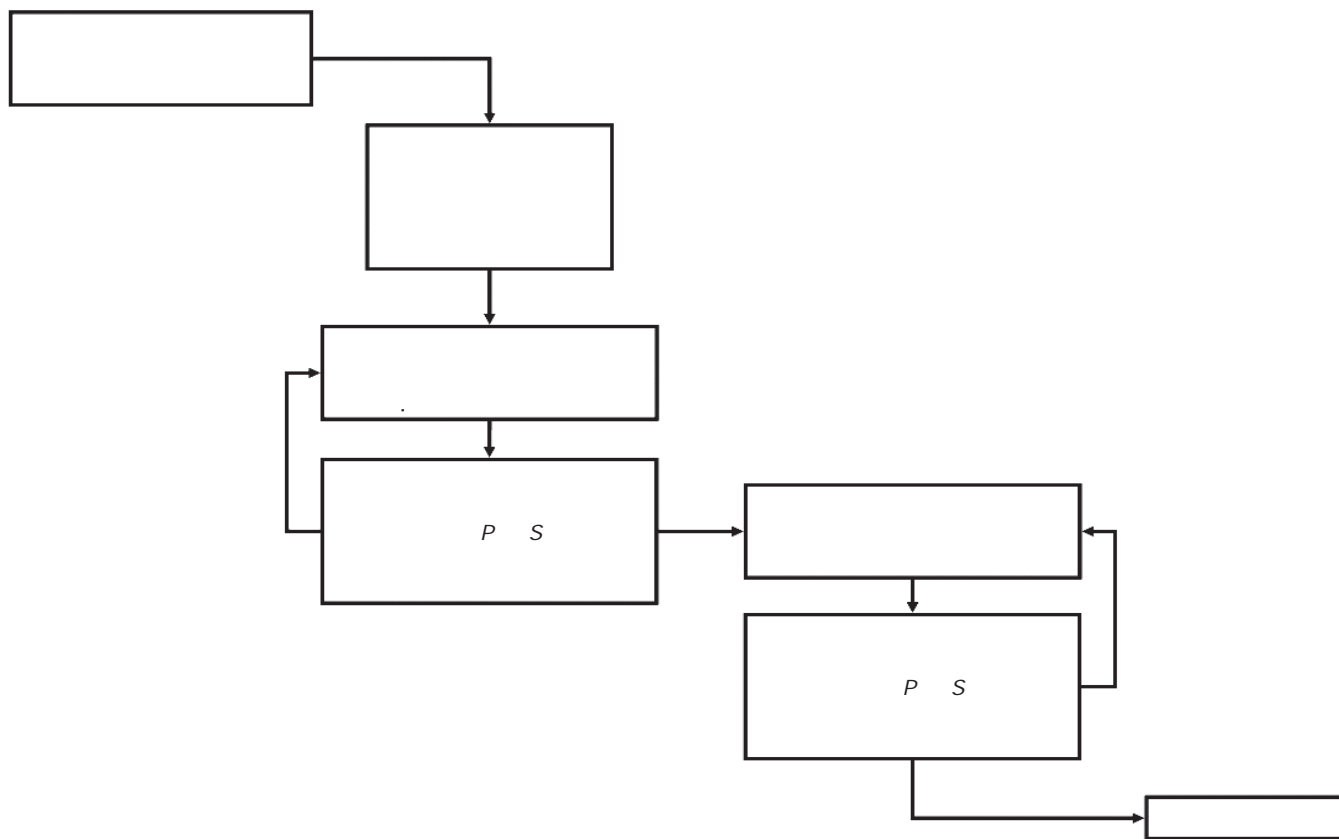


Рис. 1.

В случае подбора геометрии границ параметры невязок ограничены максимальной допустимой кривизной, что необходимо для корректности применения лучевого приближения.

На рис. 1 представлена общая схема применённого в данной работе алгоритма кинематической инверсии. Выделяются три основных этапа: построение начального приближения; уточнение модели среды с границами в виде полиномов; уточнение модели с границами в представлении интерполяционных базисных сплайнов. На рис. 2 показан подбор геометрии в случае сплайна, при этом параметрами невязки (1) являются z -координаты узлов.

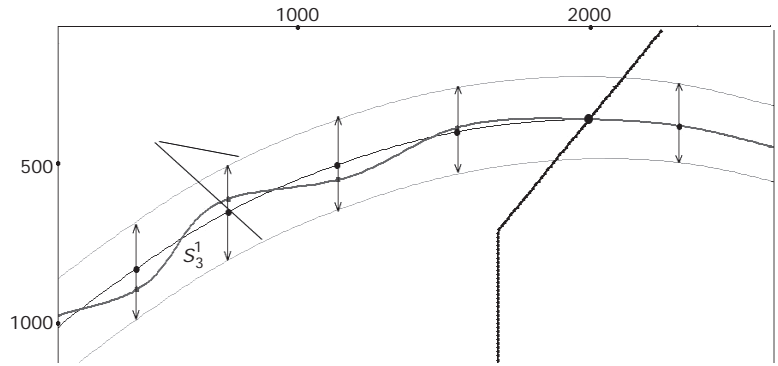


Рис. 2.

ЧИСЛЕННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Для тестирования представленного выше алгоритма обратной кинематической задачи был проведён ряд численных экспериментов. Целью этих тестов являлась проверка рациональности полученных результатов, а также устойчивости восстановления параметров модели среды.

Была решена двумерная обратная кинематическая задача в системе наблюдения 2D-ВСП. Для набора источников, расположенных на поверхности (рис. 3, а), из волновых полей (см. рис. 3, б) были получены годографы прямых и отражённых волн. Затем эти годографы были переданы на вход обратной задачи, и в результате постро-

ена скоростная модель, представленная на рис. 4, б (прозрачностью отмечена неосвещаемая область, в которую в ходе решения задачи не проникает ни один луч, выпущенный из какого-либо источника и пришедший в какой-либо приёмник). На рис. 4, а показан результат миграции использованных для обратной задачи волновых полей отражённых волн. На рис. 5, а показаны относительные значения общих среднеквадратичных невязок на каждом этапе решения задачи, на рис. 5, б на волновые поля наложены модельные годографы для одного из источников, полученные по результирующей скоростной модели. Максимальное значение точечной невязки наблюденных и мо-

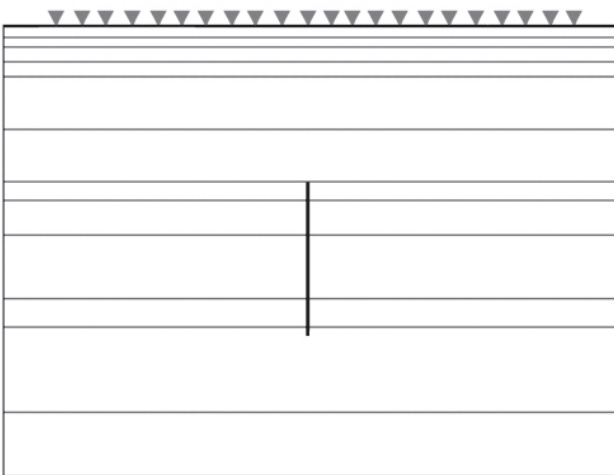
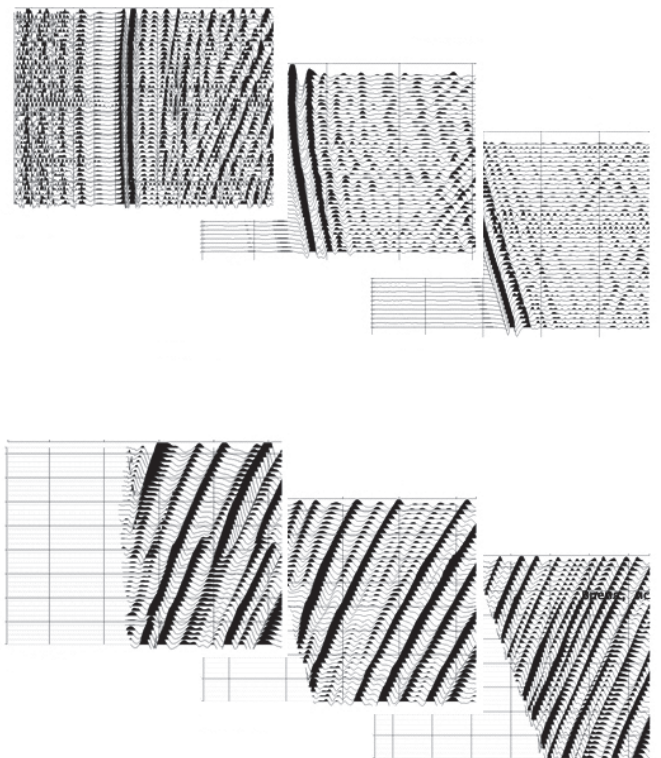


Рис. 3.



2D ()

()

дельных времён по всем участвовавшим в оптимизации годографам не превышало 5 мс для модели, полученной в результате инверсии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. В статье представлен эффективный метод восстановления параметров скоростной модели среды в системе наблюдения 2D-ВСП. Использование большого числа источников сейсмических волн позволяет улучшать качество искомым параметров, а также эффективно восстанавливать характеристики среды на больших удалениях от скважины. Преимуществом данного алгоритма является возможность его вычисления на многопроцессорных системах, что существенно увеличивает скорость счёта, а также позволяет повысить точность. Метод был проверен численными экспериментами и показал хорошие результаты.

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Юрий Александрович СТЕПЧЕНКОВ - генеральный директор ООО “Универсальные интеллектуальные системы”.

Антон Валерьевич РЕШЕТНИКОВ - геофизик ООО “ГЕОВЕРС”.

Илья Александрович ГИРМАН - программист ООО “Универсальные интеллектуальные системы”.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гергель В. П., Гришагин В. А., Городецкий С. Ю.*, 2001, Современные методы принятия оптимальных решений: Н. Новгород, Нижегородский ГУ.
2. *Решетников А. В., Решетников В. В., Табаков А. А., Елисеев В. Л.*, 2004, Применение лучевого метода в задаче динамической декомпозиции волновых полей и реконструкции модели по данным ВСП: Технологии сейсморазведки, **1**, 66 - 70.
3. *Степченко Ю. А., Решетников А. В., Лукачевский П. Л., Иванов С. В., Поволоцкий В. В.*, 2004, Оценка скоростной модели среды путем оптимизационной инверсии годографов ВСП: Тезисы научно-практической конференции Гальперинские чтения-2004: М., ЦГЭ, 62 - 66.
4. *Степченко Ю. А., Табаков А. А., Решетников А. В., Рыковская Н. В., Баранов К. В.*, 2006, Оценка модели среды по полному векторному полю ВСП: Технологии сейсморазведки, **2**, 19 - 23.