

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СКОРОСТНОЙ МОДЕЛИ СРЕДЫ ПО ДАНЫМ 2D ВСП

Ю.А. Степченков\*, А.В. Решетников\*, И.А. Гирман\*  
(\* ООО «ГЕОВЕРС», г. Москва)

## VELOCITY MODEL PARAMETERS ESTIMATION FROM 2D VSP DATA

U.A. Stepchenkov\*, A.V. Reshetnikov\*, I.A. Girman\*  
(\* *GEOVERS, Ltd., Moscow*)

**Аннотация.** В работе рассматриваются вопросы восстановления параметров скоростной модели среды с гладкими отражающими границами. Исходными данными являются годографы прямых, отраженных 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.

**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.

## 1. Введение

Для определения параметров среды в современной сейсморазведке широко применяются методы обращенного годографа. Ограниченность апертуры метода ВСП не позволяет строить адекватные модели среды на больших удалениях от скважины, а также при наличии сложных геологических условий, имеющих место в верхней части разреза [1]. Использование системы наблюдений с большим количеством источников сейсмических волн на поверхности позволяет значительно расширить область моделирования, а также улучшить достоверность искомых параметров.

В настоящей работе 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, отраженных 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 начальное приближение в виде горизонтально-слоистой модели с постоянными скоростями в каждом слое. Далее, по полученному начальному приближению проводится корреляция отраженных волн, и по годографам отраженных и обменных волн подбирается геометрия разбивочных 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 отраженных волн, после изменения формы границы параметры в слоях уточняются [2].

## **2. Описание метода**

### **а. Решение прямой задачи**

Вычисление модельных годографов для разных типов волн осуществляется при помощи решения прямой кинематической задачи лучевым методом для неоднородной упругой среды [3]. Предполагается, что среда имеет конечное число гладких отражающих границ, а в каждом пласте параметры описываются аналитическими функциями координат. Приемники сейсмических волн располагаются на скважине, которая является кривой, однозначной по координате  $z$  (глубине). Алгоритм определения времен прихода состоит из трех основных этапов: локализация скважины, получение набора интерполяционных точек времен в зависимости от угла выхода луча из источника и вычисление времен в каждом приемнике (где это возможно) [2]. В некоторых ситуациях не удастся вычислить времена прихода лучей в ряд приемников. Такие приемники расположены в зоне тени, они особым образом помечаются, а соответствующие времена на исходном годографе не учитываются.

### **б. 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 [2]. Аппроксимация проводится таким образом, чтобы обеспечить наименьшее отклонение ломаной от точек времен прихода прямой волны в сейсмоприемники. 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 величину вклада соответствующего годографа в результирующие скорости модели начального приближения.

### с. Подбор параметров модели

После построения начального приближения осуществляется 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 [2]

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

Здесь использованы следующие обозначения:  $\vec{w}$  - набор волн разных типов, по которым вычисляется невязка (прямые волны, отраженные и обменные волны от различных границ модели),  $\vec{p}$  - набор параметров модели среды, которые подбираются в процессе минимизации (скорости в слоях, коэффициенты полиномов границ, и.т.д.),  $N$  - число источников волн,  $M$  - число сейсмоприемников,  $\rho_i$  - вес  $i$ -го годографа,  $t$  - модельные времена прихода, вычисляемые в результате решения прямой задачи,  $\tau$  - исходные времена прихода. Для минимизации невязок (1) применяется алгоритм Хука-Дживса [4], модифицированный на случай двухсторонних ограничений, т.к. все параметры модели имеют заданную область допустимых значений. В случае подбора геометрии границ параметры невязок ограничены максимальной допустимой кривизной, что необходимо для корректности применения лучевого приближения. На рис. 1 представлена общая

схема примененного 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, параметрами невязки (1) являются z-координаты узлов.

### **3. Численный эксперимент**

Для тестирования представленного выше алгоритма обратной кинематической задачи был проведен ряд численных экспериментов. Целью этих тестов являлась проверка рациональности полученных результатов, а также проверка 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 (рис. 3-Б) были получены годографы прямых и отраженных волн. Затем эти годографы были переданы на вход обратной задаче, и в результате была построена скоростная модель, представленная на рис. 4-Б (прозрачностью отмечена неосвещаемая область). На рис. 4-А показан результат миграции использованных для обратной задачи волновых полей отраженных волн. На рис. 5-А показаны относительные значения общих среднеквадратичных невязок на каждом этапе решения задачи. Также на рис. 5-Б представлены модельные годографы для одного из источников, полученные по результирующей скоростной модели. Максимальное значение точечной невязки наблюдаемых и модельных времен по всем участвовавшим в оптимизации годографам не превышало 5 мс для модели, полученной в результате инверсии.

### **4. Заключение**

В настоящей работе представлен эффективный метод восстановления параметров скоростной модели среды в системе наблюдения 2D ВСП. Использование большого количества источников сейсмических волн позволяет улучшить качество искомых 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 счета, а также позволяет повысить точность. Предлагаемый в работе метод был проверен численными экспериментами и показал хорошие результаты.

### **Список рисунков**

1. Алгоритм решения обратной кинематической задачи.
2. Подбор положения узлов сплайна отражающей границы.
3. Система наблюдений 2D ВСП (А) и исходные волновые поля (Б) для решения обратной задачи.
4. Результат миграции (А) и скоростная модель (Б), построенная в результате решения обратной кинематической задачи.
5. Значения среднеквадратичных невязок на разных этапах обратной задачи (А), а также модельные годографы (Б), построенные по полученной скоростной модели.

### **Список литературы**

1. Ю.А. Степченко, А.В. Решетников, П.Л. Лукачевский, С.В. Иванов, В.В. Поволоцкий, Оценка скоростной модели среды путем оптимизационной инверсии годографов ВСП. Тезисы научно-практической конференции “Тальперинские чтения-2004”. С.62-66.

2. Ю.А. Степченков, А.А. Табаков, А.В. Решетников, Н.В. Рыковская, К.В. Баранов  
Оценка модели среды по полному векторному полю ВСП. Технологии сейсморазведки. 2/2006, С.19-23.
3. Решетников А.В., Решетников В.В., Табаков А.А., Елисеев В.Л. Применение лучевого метода в задаче динамической декомпозиции волновых полей и реконструкции модели по данным ВСП. Технологии сейсморазведки. 2004. 1. С. 66-70.
4. Гергель В.П., Гришагин В.А., Городецкий С.Ю. Современные методы принятия оптимальных решений. Нижний Новгород. 2001.