

# ДДР: ТЕХНОЛОГИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ НА МОДЕЛЬНЫХ ДАННЫХ

*А.В. Решетников\**, *А.А. Мухин\**, *А.А. Табаков\*\**, *В.Л. Елисеев\*\**

*\*СПбГУ, \*\*ОАО «ЦГЭ»*

## **Аннотация**

В предлагаемом докладе представляется методика обработки и интерпретации данных сейсморазведки ВСП для моделей неоднородных сред с кусочно-гладкими границами. Приводится схема метода и описание различных его элементов, в том числе построение совмещенных изображений границ и редактирование геометрии границы по ее изображению. Также представлен пример использования метода на модельных данных.

## **1. Введение**

Целью данной работы является представление новой методики обработки и интерпретации данных сейсморазведки ВСП в сложнопостроенных средах, состоящих из связанной системы произвольно-неоднородных тел с кусочно-гладкими границами. Регулярные волны различных типов и кратностей последовательно вычитаются из исходного поля и проектируются на изображение с использованием опорной модели. Причем для вычитания используются годографы (совокупность времен прихода лучей волны заданного типа в сейсмоприемники) и поляризации, рассчитанные по начальной модели среды в рамках лучевого метода. Полученное изображение можно использовать для уточнения начальной модели, что может служить основой для следующей итерации на пути подбора модели адекватной волновому полю. В дальнейшем этот метод будем называть методом динамической декомпозиции и реконструкции (ДДР). [1-5]

В рамках работы решались следующие задачи:

- разработка и реализация алгоритмов описания моделей двумерных геологических разрезов с неоднородным распределением скоростей распространения волн и кусочно-гладкими границами геологических тел;
- разработка и реализация алгоритмов слежения лучей в таких средах;
- разработка и реализация алгоритмов выделения формы волны вдоль годографа, построения изображения границы;
- проверка эффективности работы метода численным экспериментом;
- разработка полной технологической цепочки программ, реализующих представленный метод.

## **2. Методика динамической декомпозиции волновых полей**

**2.1. Схема метода.** Технология обработки данных ВСП по методике ДДР состоит в последовательном повторении нескольких процедур:

1. построение начального приближения модели среды в результате решения обратной кинематической задачи по годографам и поляризациям всех визуально корректируемых волн;
2. для каждой видимой волны от каждой границы модели выполняется расчет модельной волны с временем, амплитудами и поляризацией;
3. выполняется оценка формы волны вдоль расчетного годографа с использованием расчетного распределения амплитуд и поляризации;
4. выделенная волна вычитается из исходного поля и проецируется в точки рассеяния на изображение с пересчетом в норму коэффициента отражения продольной волны по внешней нормали к границе, причем волны разных типов от одной точки границы накапливаются с весами пропорциональными их амплитуде.

Процесс повторяется для всех типов волн и всех границ, пока на волновом поле не останется регулярных волн. Обработываются не только однократные, но и кратные волны.

После получения изображения опорная модель может быть уточнена и процесс повторяется пока изображение с необходимой точностью не будет соответствовать модели. Схема метода наглядно представлена на рис. 1.

Технология динамической декомпозиции волновых полей была реализована в виде программы. Метод подразумевает интерактивное взаимодействие с пользователем. Реализованная программа использует двухоконный интерфейс. На одном окне представлено реальное волновое поле, а на втором некоторое приближение модели. Идея состоит в том, что пользователь постепенно выделяет полезную информацию из волнового поля и в соответствии с ней корректирует модель, постепенно увязывая ее с полем. Таким образом, интерактивно решается обратная задача на подбор параметров модели (корректируются форма границ и параметры геологических тел модели).

Естественно, использование этого метода возможно только при наличии адекватного сложности задачи начального приближения. Поэтому начальным звеном технологической цепочки программы является блок построения начального приближения, основанный на решении обратных кинематических задач [6]. Полный цикл обработки данных по методике ДДР выглядит так:

- I. построение начального приближения модели при помощи решения обратных кинематических задач, исходными данными для которых являются только информация из волнового поля;
- II. итеративное уточнение полученного приближения, по методу ДДР, до тех пор пока полученная модель, не будет в достаточной степени согласована с исходным волновым полем.

**2.2 Решение прямых задач.** Задача расчета характеристик волны заданного типа сводится к отысканию углов, под которыми надо пустить лучи (с кодом заданной волны), чтобы они попали во все доступные сейсмоприемники. Если такие лучи найдены, то по их

траектории можно рассчитать время прихода волны и амплитуду в точке сейсмоприемника [2]. Таким образом, метод позволяет получить амплитуды, годографы и поляризационные параметры волн произвольного типа.

**2.3 Выделение волны вдоль годографа.** Зная годограф и поляризационные параметры волны и имея возможность выделять форму волны вдоль годографа, можно вычесть ее из полного волнового поля без влияния интерференционных процессов [7]. Благодаря этому, проводя последовательно вычитание волн в порядке убывания амплитуд можно добиться полного разбора поля вплоть до волн больших кратностей. Применение лучевого метода расчета параметров волн, позволяет по вычтенной волне легко построить, соответствующее ей, изображения, т. к. точки отражения определяются уже на этапе трассирования.

**2.4 Построение совмещенных изображений границ.** Под построением изображения волны понимается преобразование выделенной формы сигнала из временного масштаба в глубинный и сносом полученного сигнала в точки отражения.

Как правило, сейсмическая граница освещается сразу несколькими типами волн. Очевидно, что каждая волна несет информацию о свойствах среды и поэтому при построении изображения для получения полной картины желательно использовать все доступные данные. Также необходимо, чтобы полученное решение было применимо к частному случаю, когда граница освещается только одним типом волн.

Естественным решением задачи построения совмещенного изображения по всем волнам является накапливание изображений, полученных по каждому из типов волн в отдельности. При этом нужно учитывать, что динамически эти изображения соответствуют разным физическим величинам (изменению коэффициентов отражения или преломления продольных или поперечных волн). Поэтому перед суммированием

необходимо нормировать все полученные изображения, приведя их к одной размерности – например, к значению коэффициента отражения продольных волн вдоль нормали к целевой границе. Это можно сделать, рассчитав на основе опорной модели среды коэффициент отражения (прохождения)  $K$  для заданного типа волн при данном угле падения на границу, коэффициент отражения по нормали  $K_p^0$  и вычислив нормировочный множитель

$$\gamma = \frac{1}{N} \frac{K_p^0}{K}$$

где  $N$  – число накапливаемых изображений границы.

Таким образом, для любой освещаемой границы модели могут быть получены отдельные изображения по всем типам волн (включая волны кратности более единицы), которые, в свою очередь, объединяются в суммарный сейсмический разрез, на котором значения амплитуд соответствуют коэффициенту отражения продольных волн по нормали.

Для иллюстрации работы алгоритмов построения совмещенных изображений были рассчитаны годографы и выделены формы всех четырех однократных волн от одной границы модели. И, затем по ним были получены отдельные (рис. 2а) и совмещенное (рис. 2б) изображения.

**2.5 Коррекция модели.** В случае, когда модель не вполне соответствует полю, при попытке решить по ней прямую задачу (рассчитать параметры какой-нибудь волны), расчетные времена прихода будут не совпадать с теми, что есть в реальном поле. Соответственно, при выделении формы волны вдоль рассчитанного направления будут возникать ошибки, которые будут тем сильнее, чем сильнее текущее приближение модели отличается от реальности. Идея коррекции формы границы модели по ее изображению заключается в том, что пользователь, основываясь на полученном изображении, а так же на своем опыте будет редактировать форму границы до тех пор, пока не будет получено

хорошее совпадение расчетных годографов с полем (и соответственно будет получено качественное изображение границ). На рис. 3 представлены изображения, построенные по неточной и по скорректированной границе.

В начальном приближении метода ДДР (обратные кинематические задачи) геометрия границ подбирается в классе гладких сплайн-функций. Реальные геологические модели могут содержать нарушения (изломы и пересечения границ геологических тел среды). Технология построения изображений и коррекции геометрии модели позволяет обнаруживать нарушения и вносить соответствующие изменения в модель. Процесс детектирования и включения в модель нарушений границ представлен на рисунках 4, 5. На рис. 4 изображен годограф рассчитанный от исходной плоской границы в модели, полученной в результате обратной кинематической задачи. Из рисунка явно видно, что в исходном волновом поле присутствует еще одна волна, с полностью аналогичными характеристиками, но чуть смещенная во времени. Это может свидетельствовать о том, что реальная граница содержит излом со сдвигом. Вдоль полученного годографа была выделена форма обеих волн и построено изображение плоской границы (рис. 5а). Полученная картина позволила детектировать нарушение и внести соответствующую корректировку в модель (рис 5б). После включения нарушения каждый из сегментов полученной границы рассматривался как самостоятельный источник волн. Волны от разных сегментов целевой границы были рассчитаны, затем были построены их изображения (рис. 5в). Как видно из рисунка 5в, полученные изображения достаточно хорошо согласуются с геометрией модели, это свидетельствует о том, что полученная модель с некоторой точностью совпадает с исходной моделью, по которой было получено волновое поле.

### **3. Пример применения метода**

Для иллюстрации работы предложенного метода был проведен численный эксперимент. По известной модели методом конечных разностей было промоделировано полное волновое поле (рис. 6а). Затем с волнового поля были сняты времена прихода всех видимых однократных падающих и восходящих волн и разбивка (положение на скважине) слоев модели (рис. 6б). Далее по этим данным была запущена обратная кинематическая задача. Полученная модель была уточнена по методу ДДР. Окончательные результаты и исходная модель представлены на рисунке 7.

#### **4. Выводы**

- В рамках технологии ДДР разработаны эффективные методы описания произвольных двумерных сред и методы расчета лучей в средах с переменными градиентами скоростей.
- Предложена и реализована технология, позволяющая итеративно и интерактивно решать двумерную обратную задачу для векторных волновых полей, совмещая и усовершенствуя, как процессы обработки (векторная селекция волн), так и вопросы интерпретации - построение изображения среды.
- Метод реализован в виде полной технологической цепочки программ, и представляет из себя коммерческий продукт, находящийся сейчас на стадии тестирования

#### **Литература**

1. А.А. Табаков, И.Е. Солтан, А.В. Решетников, В.В. Решетников. Динамическая декомпозиция волновых полей и реконструкция модели среды при обработке данных ВСП. Материалы научно-практической конференции «Гальперинские чтения-2002». 2002, стр. 12-13.
2. А. В. Решетников, В. В. Решетников, И. Е. Солтан, А. А. Табаков. Применение лучевого метода в задаче динамической декомпозиции волновых полей и

реконструкции модели по данным ВСП. Материалы международной конференции "Геофизика XXI века - прорыв в будущее". М., 2003.

3. А.В. Решетников, Ю.А. Степченков, А.А. Табаков, В.Л. Елисеев. Построение совмещенного изображения среды по волнам разных типов. Материалы научно-практической конференции «Гальперинские чтения-2004». 2004, стр. 60-62.
4. А.В. Решетников, В.В. Решетников, А.А. Табаков, В.Л. Елисеев. Применение лучевого метода в задаче динамической декомпозиции волновых полей и реконструкции модели по данным ВСП. Технологии сейсморазведки. 2004. 1, стр. 66-70.
5. А.В. Решетников, А.А. Мухин, А.А. Табаков, В.Л. Елисеев. DDR: технология и результаты применения на модельных и реальных данных. Материалы научно-практической конференции «Гальперинские чтения-2005». 2005, стр. 40-44.
6. Степченков Ю.А., Табаков А.А., Решетников А.В. Оценка модели среды по полному векторному полю ВСП. Тезисы научно-практической конференции «Гальперинские чтения-2005», 2005, стр.31-35.
7. Копчиков А.В., Ференци В.Н., Табаков А.А., Решетников А.В. Селекция волновых полей с применением алгоритма «ПОЛИКОР». Материалы VII международной конференции «Новые идеи в науках о Земле», 3, 14, 2005.

### **Список иллюстраций**

1. Схема метода ДДР
2. (а) Отдельные изображения волн, рассеянных на одной границе. (б) Совмещенное изображение границы.
3. Примеры изображений границы: (а) – изображение, построенное по неточной модели, (б) – изображение, построенное по скорректированной границе.
4. Годограф от границы с нарушением.



5. (а) Изображение, нанесенное на исходную плоскую границу. (б) Коррекция границы по ее изображению (включение нарушения). (в) Изображение границы после включения нарушения.
6. (а) Модель и промоделированное поле. (б) Годографы однократных волн, снятые с волнового поля и разбивка слоев модели.
7. Результаты применения технологии ДДР: (а) – модель, полученная в результате решения обратных кинематических задач (начальное приближение), (б) – модель, после нескольких итерации по методу ДДР, (в) – исходная модель, использовавшаяся для теста