

## ОБ ИНВЕРСИИ И МИГРАЦИИ ДАННЫХ ВСП

А.В. Баев\*, А.А. Табаков\*\*, И.Е. Солтан\*\*  
(\* МГУ, г. Москва; \*\* ОАО «ЦГЭ», г. Москва)

Метод миграции сейсмических волновых полей является одним из основных инструментов интерпретации данных сейсморазведки. В докладе рассматривается место метода миграции среди традиционных методов решения обратных задач и задач интерпретации геофизических данных. Построение изображения среды по сейсмическим трассам, т.е. решение обратной динамической задачи сеймики, называется инверсией сейсмических данных. Неизвестными характеристиками геологической среды при инверсии считаются жесткостные параметры, определяющие амплитудные величины сейсмического поля. При этом скоростные параметры среды предполагаются известными. Обычно предварительно они определяются с помощью решения соответствующей обратной кинематической задачи сеймики на основе лучевого приближения. Решение обратной кинематической задачи дает также некоторую информацию о жесткостных параметрах среды. Таким образом, лучевой подход позволяет построить опорную модель среды. Очевидно, что возможность такого построения определяется апертурой базы наблюдений. В методе ВСП она никогда не бывает достаточно полной, что не позволяет зарегистрировать отраженные от неоднородностей среды или преломленные на них волны. Это вызывает определенные трудности при построении детальных геологических разрезов на основе лучевого подхода. Миграция и инверсия сейсмических трасс на базе опорной модели среды являются наиболее современными методами построения более полных геологических разрезов.

Миграция волновых полей подразумевает, как правило, следующую двухэтапную процедуру. Вначале производится продолжение зарегистрированных приемниками сейсмических полей в геологическую среду, описываемую опорной моделью. Если при таком продолжении скорости волн принимаются постоянными, то это миграция по Кирхгоффу. Процедура

миграции по Кирхгоффу весьма проста, но внутренне противоречива, поскольку на самом деле скорости в опорной модели не постоянны. Более точной является процедура миграции волнового поля на основе лучевого подхода в рамках опорной модели среды. Такая миграция называется временной, хотя более естественно ее называть лучевой или кинематической. Наиболее точное построение мигрированного поля осуществляется на основе полного решения динамической задачи в опорной среде и продолжении сейсмического поля на основе формул Грина (в скалярном случае) или Соболева (в упругом случае). Для этого типа миграции нередко используется термин глубинная, хотя более естественно назвать ее динамической. Такая миграция осуществляется на основе конечно-разностного решения задач, определяемых информацией, регистрируемой сейсмоприемниками. При этом результатом миграции является волновое поле, первоначально заданное в точках приема, а затем продолженное в среду или некоторую ее подобласть, подлежащую детализации. Мигрированное волновое поле качественно отражает исследуемый геологический разрез в том смысле, что наибольшие амплитуды смещений мигрированного поля соответствуют в пространстве искомым рассеивающим неоднородностям среды в момент падения на эту неоднородность волны, определяемой опорной моделью (очевидно, что такая волна не обязательно является прямой). При этом под рассеивателем понимается любая неоднородность, изменяющая падающее поле. Это обстоятельство позволяет восстанавливать такие детали разреза среды, принципиально недоступные в лучевом приближении, как невидимые наклонные границы, дифрагирующие ребра, вершины и т.д.

Мигрированное поле лишь качественно отражает искомый геологический разрез. Построение изображения среды с реальными количественными характеристиками является вторым этапом метода миграции, хотя, по сути, на этом этапе решается задача инверсии мигрированного поля. До настоящего времени не сложилось единого подхода к решению этой проблемы. Практически все известные методы инверсии основаны на эвристическом положении, высказанном основоположником

метода миграции J. Claerbout, суть которого состоит в том, что количественная характеристика рассеивателя равна отношению амплитуд мигрированного и полного полей. Все работы геофизиков в этом направлении, как правило, сводились к использованию различных моделей отражателей или дифракционных рассеивателей, расположенных в исследуемой точке. Однако такой наивный подход не позволяет адекватно описать процесс рассеяния первичного поля, поскольку в каждом из методов инверсии заложен лишь один вполне конкретный механизм рассеяния. Другим способом решения задачи инверсии мигрированного поля является решение соответствующих интегральных уравнений относительно функций, описывающих пространственные характеристики среды. Такой подход также не получил должного практического развития из-за большой трудоемкости необходимых вычислений. Кроме того, при его реализации возникают серьезные проблемы, связанные с некорректностью задачи инверсии. Поскольку сама процедура миграции является приближенной, то неустойчивость инверсии на практике не приводит к удовлетворительным результатам. В большинстве случаев к неудовлетворительным результатам приводит распространенная методическая ошибка, когда мигрируется полное зарегистрированное поле, а не разность зарегистрированного и построенного на основе опорной модели среды полей. Типичным результатом такой миграции является появление на построенных разрезах так называемых усов или улыбок миграции.

Предлагаемый нами подход к решению исходной проблемы инверсии сейсмических данных основан на оптимизационной постановке обратной задачи. В качестве решения задачи выбирается тот разрез из множества допустимых решений, на котором достигается минимум функционала невязки зарегистрированных и построенных по этому решению сейсмических трасс. Одним из последних результатов теории обратных задач является тот замечательный факт, что этот, вообще говоря, нелинейный относительно искомого решения функционал имеет единственный минимум, который достигается на точном решении обратной задачи. Это утверждение доказано в условиях единственности

решения для ряда обратных динамических задач при точных дополнительных данных, что позволяет рассчитывать на практическую сходимость градиентных методов минимизации. Использование метода сопряженной задачи позволяет непосредственно строить градиент функционала невязки. Таким образом, решение исходной задачи инверсии эффективно строится на основе итерационного метода спуска. Интересно, что если мы выбираем в качестве такового метод наискорейшего спуска, а в качестве начального приближения опорную модель, то получаем следующий примечательный результат: на первой итерации получается разрез, построенный по формулам динамической миграции, причем инверсия выполняется автоматически, поскольку мы строим решение сразу в пространстве изображений. Параметр, который присутствует в методе спуска и определяет шаг в направлении антиградиента выбирается, например, по минимуму невязки. Таким образом, принцип оптимального выбора решения автоматически решает проблему количественного описания изображения среды. Если же в качестве начального приближения взять однородную среду, то на первой итерации градиентного спуска получается разрез среды, построенной на основе миграции по Кирхгоффу. В результате мы приходим к следующему принципиальному выводу:

метод миграции является эвристическим методом построения градиента целевого функционала при решении задачи инверсии сейсмических трасс методом оптимизации.

\*\*\*\*\*

**РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЯРИЗАЦИОННО-ДИНАМИЧЕСКОЙ  
ИНТЕРПРЕТАЦИИ ПОЛЕЙ ОТРАЖЕННЫХ И  
ПРЕЛОМЛЕННЫХ ВОЛН, ФОРМИРУЕМЫХ ВО  
ФЛЮИДОНАСЫЩЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ (ПО  
МАТЕРИАЛАМ ВСП)**

Г.В.Голикова, М.В.Чижова

( *НИИФизики Санкт-Петербургского Государственного  
университета* )