

АППАРАТУРНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КАРОТАЖА НАКЛОННЫХ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН

Предложено два типа аппаратуры бокового каротажа для геофизического исследования горизонтальных скважин. Описаны эффективные алгоритмы решения прямой и обратной 3D задач бокового каротажа.

Ключевые слова: боковой каротаж; наклонная скважина.

Увеличение доли наклонных и горизонтальных скважин в общем фонде требует адаптации классических геофизических методов исследования скважин под новые условия. Так, в частности, возникает ограничение на длину и диаметр каждого из приборов. Также для электрического каротажа возникает необходимость направленного по азимуту исследования проводимости (в цилиндрической системе координат, если ось скважины совпадает с осью z).

Основные типы аппаратуры бокового каротажа, предназначенные для исследования по азимуту, используют простой принцип секционирования центрального электрода. Очевидно, что в силу принципа непересечений линий тока, токи «стекающие» с каждой секции электрода будут распространяться каждый в своем секторе и таким образом измеряемые кажущиеся сопротивления (КС) будут характеризовать азимутальное распределение удельного электрического сопротивления (УЭС).

В работе рассмотрена возможность применения для геофизического исследования горизонтальных скважин аппаратуры МЭК-Ф [Миронцов, 2010а] и МЭК-И [Миронцов, 2010б], предложенных автором, с соответствующей заменой токовых электродов на секционированные.

В работе показано, что, используя любой численный метод (конечных разностей, конечных элементов и т.д.), можно значительно повысить скорость расчета. В качестве примера рассматривается метод полных токов [Миронцов, 2009]. Для повышения скорости расчета (для подобных 3D задач, скорость расчета стандартных методов для реальных условий каротажа может варьироваться от нескольких часов до нескольких суток) было использовано следующее [Миронцов, 2007]: задание граничных условий на поверхности электродов в виде условий Неймана позволяет для любого распределения УЭС рассчитать КС по трем определителям:

$$\tilde{r} = K \frac{U_{MN}}{I} = \frac{K}{I} \left(\frac{D_M - D_N}{D} \right), \quad (1)$$

где D – определитель матрицы коэффициентов системы; D_M , D_N – определители матриц коэффициентов системы, в которых столбец коэффициентов при неизвестных U_M , U_N заменен соответственно на свободный столбец.

Заметим, что использование в качестве численного метода именно метода полных токов, также значительно упрощает задачу расчета. Как это следует из (1), в общем случае необходимо рассчитывать две величины: ток, стекающий с токового электрода, и разность потенциалов между измерительными. Но одна из этих величин может быть задана. Выбор задаваемой величины и способ задания граничных условий может исключить возможность решения задачи с помощью вычисления всего трех определителей. Действительно, если задать на поверхностях токовых электродов граничные условия для потенциала (задача Коши), для вычисления тока нам понадобится вычислять намного большее количество определителей (фактически понадобится численно интегрировать по поверхности). Задание граничных условий в виде плотности тока (задача Неймана) потребует определение величины источника тока в каждом узле, соответствующем поверхности электродов, такой, чтобы выполнялось условие эквипотенциальности поверхностей электродов. Оказывается, применение метода полных токов позволяет очень просто избежать такого усложнения. А именно, к дискретной модели проводящей среды добавлены элементы соответствующие соединениям между электродами, а сила тока, заданной величины, была задана на поверхности электрода (и, вообще говоря, может быть задана в любой точке такой поверхности). Таким образом, во-первых, отпала необходимость измерять силу тока (она – заданная величина), а, во-вторых, было автоматически достигнуто условие эквипотенциальности (т.к. величины сопротивления проводников, соединяющих поверхности электродов были заданы сколь угодно малыми (10^{-3} - 10^{-4} ом)), что и позволило применять (1) и получать решение прямой задачи, рассчитывая всего три определителя.

Фактически, для выбранной геометрии аппаратуры бокового каротажа, обратная задача, даже при отсутствии аксиальной симметрии, в первом приближении может быть рассмотрена как 2D задача. Действительно, в силу уже упоминавшегося принципа непересечений линий тока, у вектора плотности тока, «стекающего» с каждой секции электрода, азимутальная составляющая равна нулю. Т.е. если для вертикальных скважин, при наличии аксиальной симметрии, каждый элемент двумерной дискретной модели

проводящего пространства был получен путем интегрирования по азимуту от 0 до 2π , то в случае секционирования электрода, необходимо интегрировать на величину угла, соответствующую каждому сектору. В работе приведены результаты моделирования, подтверждающие, что такое решение обратной задачи вполне обосновано (такое решение не ставит задачу количественной интерпретации (в отличие от задач геофизического исследования вертикальных скважин), но решает задачу, актуальную именно для горизонтальных скважин: задачу навигации и определения положения скважины относительно границ пласта). Было отмечено, что использование описанного эффективного метода решения прямой 3D задачи, формально позволяет строго решать и обратную 3D задачу (по аналогии с 2D задачей [Миронцов, 2007; Миронцов, 2008; Миронцов, 2009]).

На основании проведенных расчетов и достаточного объема моделирования, а также в соответствии со сказанным были сделаны следующие выводы:

- предложенный метод решения прямой 3D задачи, основанный на методе полных токов и упрощенному подходу получения результата (по формуле (1)) позволяет эффективно решать задачи бокового каротажа для условий горизонтальных скважин;

- предложенные изменения в конструкцию токовых электродов аппаратуры МЭК-Ф и МЭК-И

позволяют эффективно использовать такую аппаратуру в горизонтальных скважинах.

Автор выражает благодарность директору Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН академику М.И. Эпову за внимание к работе.

Литература

- Миронцов Н.Л. Импульсный боковой каротаж с повышенным пространственным разрешением // Доповіді Національної академії наук України, – 2010. – №6
- Миронцов М.Л. Метод розв'язання прямої та оберненої задачі електричного каротажу // Доповіді Національної академії наук України, – 2007. – №2.
- Миронцов Н.Л. Решение прямых и обратных задач электрического и индукционного каротажа методом интегральных (полных) токов / в сб. Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики. – Київ. – 2009.
- Миронцов Н.Л. Решение прямых и обратных задач электрического и индукционного каротажа методом интегральных (полных) токов. Диссертация на соискание уч.степени к.ф.-м.н. – Новосибирск. – 2008.
- Myrontsov M.L. Method for improving the spatial resolution of resistivity logging // Геофизический журнал, – 2010. – №4. v.32

АПАРАТУРНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС ЕЛЕКТРИЧНОГО КАРОТАЖУ ПОХИЛИХ ТА ГОРИЗОНТАЛЬНИХ СВЕРДЛОВИН

М.Л. Миронцов

Запропоновано два типи апаратури бокового каротажу для геофізичного дослідження горизонтальних та похилих свердловин. Описані ефективні алгоритми розв'язання прямої та оберненої 3D задачі бокового каротажу.

Ключові слова: боковий каротаж; похила свердловина.

APPARATUS AND METHODOLOGICAL COMPLEX OF ELECTRIC LOGGING FOR INCLINED AND HORIZONTAL WELLS

M.L. Myrontsov

Two types of lateral logging equipment for geophysical investigations of horizontal wells are proposed. Effective solution algorithms for lateral logging 3D direct and inverse problems are described.

Key words: lateral logging; inclined well..

Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, г. Киев