

ПОДГОТОВКА ДАННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КАРОТАЖА В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИНАХ ДЛЯ ЧИСЛЕННОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ

Алексей Александрович Горбатенко

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, ведущий программист лаборатории скважинной геофизики, тел. (383)330-79-47, e-mail: gorbatenkoaa@ipgg.sbras.ru

Карина Владимировна Сухорукова

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, старший научный сотрудник лаборатории скважинной геофизики, тел. (383)330-49-52, e-mail: suhorukovakv@ipgg.sbras.ru

Интерпретацию данных электромагнитного каротажа в скважинах с горизонтальным завершением можно эффективнее выполнять на основе трехмерной инверсии с учетом зенитного угла скважины. Форма каротажных кривых в таких скважинах сильно отличается от формы кривых в вертикальных. Для расстановки границ пластов следует опираться на признаки, отличные от тех, что используются в вертикальных скважинах. Ускорения расчетов можно достичь прореживанием данных, подаваемых на вход процедуры инверсии. При этом плотность точек измерения должна быть больше в интервалах пересечения скважиной границ пластов и меньше в интервалах однородных пластов.

Ключевые слова: геофизические исследования скважин, электромагнитный каротаж, ВЭМКЗ, горизонтальные скважины, уменьшение точек.

PREPROCESSING OF ELECTROMAGNETIC LOGGING DATA IN HORIZONTAL WELLS FOR NUMERICAL INTERPRETATION

Alexey A. Gorbatenko

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Koptuyug Prospect, Lead Programmer of the Laboratory of Well Logging Geophysics, tel. (383)330-79-47, e-mail: gorbatenkoaa@ipgg.sbras.ru

Karina V. Suhorukova

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Koptuyug Prospect, Senior Researcher of the Laboratory of Well Logging Geophysics, tel. (383)330-49-52, e-mail: suhorukovakv@ipgg.sbras.ru

3D inversion algorithms should be used for electromagnetic well logging data interpretation in horizontal wells. The mention should be made that electromagnetic data from horizontal wells are different from data from vertical ones. It means in particular that in horizontal wells there are signs indicating boundary position that different from ones in vertical wells. To speed up calculations one should reduce the number of logging points in inversion input data.

Key words: well logging, electromagnetic well logging, VEMKZ, horizontal wells, points reduction.

Доля наклонных и горизонтальных скважин при разработке нефтегазовых месторождений неуклонно растет. В связи с этим все острее становится необ-

ходимость более точных методик интерпретации данных геофизических исследований скважин. Это касается в том числе и методов электромагнитного каротажа. В силу того, что в горизонтальных скважинах на такие измерения влияют эффекты, отсутствующие в вертикальных стволах (например, тонкая слоистость, заряды на границах пластов), использование методик интерпретации, разработанных для вертикальных скважин, зачастую приводит к ошибочным оценкам параметров пород, окружающих скважину [1].

Для более точного описания строения пройденного разреза используют процедуру инверсии данных в слоистой среде с учетом наклона прибора относительно границ пластов [2]. Очевидно, что результат и время выполнения инверсии зависит от подаваемых на вход алгоритма результатов измерений в скважине и от стартовой модели. Так, например, чем ближе стартовая модель к истинному строению среды, тем меньше итераций требуется для поиска решения.

Построение стартовой модели начинается с расстановки границ. Поскольку форма кривых электромагнитного каротажа в горизонтальных скважинах отличается от формы кривых в вертикальных [1], то расстановка границ пластов выполняется другим способом. Как известно, в вертикальных скважинах границе контрастных по удельному электрическому сопротивлению (УЭС) пластов соответствуют участки диаграмм с наибольшим значением производной [3]. Но в скважинах с большим зенитным углом вихревые токи, создаваемые источником, пересекают границы пластов, в результате чего на них образуются электрические заряды, что сказывается на показаниях прибора. На рис. 1б изображена диаграмма разности фаз, рассчитанная для длинного зонда высокочастотного электромагнитного каротажного зондирования (ВЭМКЗ) в двухслойной среде при зенитном угле скважины 85° . УЭС верхнего полупространства составляет $30 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, нижнего – $5 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Горизонтально расположенная граница находится на отметке 0 м . В этом месте на диаграмме наблюдается минимум значений разности фаз, который связан с образованием на границе пластов электрического заряда. При этом в интервале глубин от -4 до 0 м значения разности фаз мало изменяются, а после пересечения границы начинают резко возрастать. Численное моделирование данных ВЭМКЗ в различных ситуациях показало, что на границе контрастных по УЭС пластов при зенитном угле более 60° всегда наблюдается локальный минимум разности фаз [1]. Из-за сложных условий измерений в горизонтальных скважинах данные ВЭМКЗ зачастую бывают зашумлены [4], и локальные минимумы разности фаз оказываются скрыты этими шумами. Для подавления шумов применяют различные методы фильтрации или сглаживания. На диаграмме сглаженного сигнала положению границы пластов будет соответствовать перегиб со стороны меньшей разности фаз или большего кажущегося УЭС.

При больших зенитных углах скважина пересекает пласты под очень острым углом, каждая граница долгое время находится в области чувствительности прибора. Таким образом, в небольшом интервале по вертикали находится большое число точек измерения. Например, на участке диаграммы, изображен-

ном на рис. 1б, в интервале глубин от минус 4 до плюс 4 м находится 555 точек измерения. Это означает, что в процессе инверсии этих данных на каждой итерации прямая задача решается 555 раз. Очевидно, если даже шаг измерения будет меньше, то использование инверсии все равно позволит получить решение с требуемой точностью. Поэтому для увеличения скорости вычислений можно уменьшить число точек измерения, подаваемых на вход процедуры инверсии, без снижения качества подбора. К тому же, так как вдоль ствола скважины чувствительность сигнала к разным параметрам среды неодинакова, целесообразно при прореживании точек оставлять их большую концентрацию на участках, где известна чувствительность и к УЭС пластов, и к положению границы между ними. На рис. 1в изображены функции чувствительности к параметрам двухслойной модели в зависимости от глубины точки измерения. Значения этих функций одновременно отличны от нуля в интервале от минус 1 до плюс 2 м. Следовательно, при прореживании оптимально оставлять большую плотность точек в таких интервалах. На диаграмме разности фаз (рис. 1б) в этом интервале наблюдается наиболее резкое изменение значений. Тогда при прореживании большую плотность точек измерения необходимо оставлять в интервалах, где наблюдается изменение значений разности фаз (места пересечения границ пластов), а в интервалах, где показания электромагнитных зондов практически не изменяются, можно оставлять меньшую плотность точек, так как там наблюдается чувствительность лишь к УЭС одного пласта.

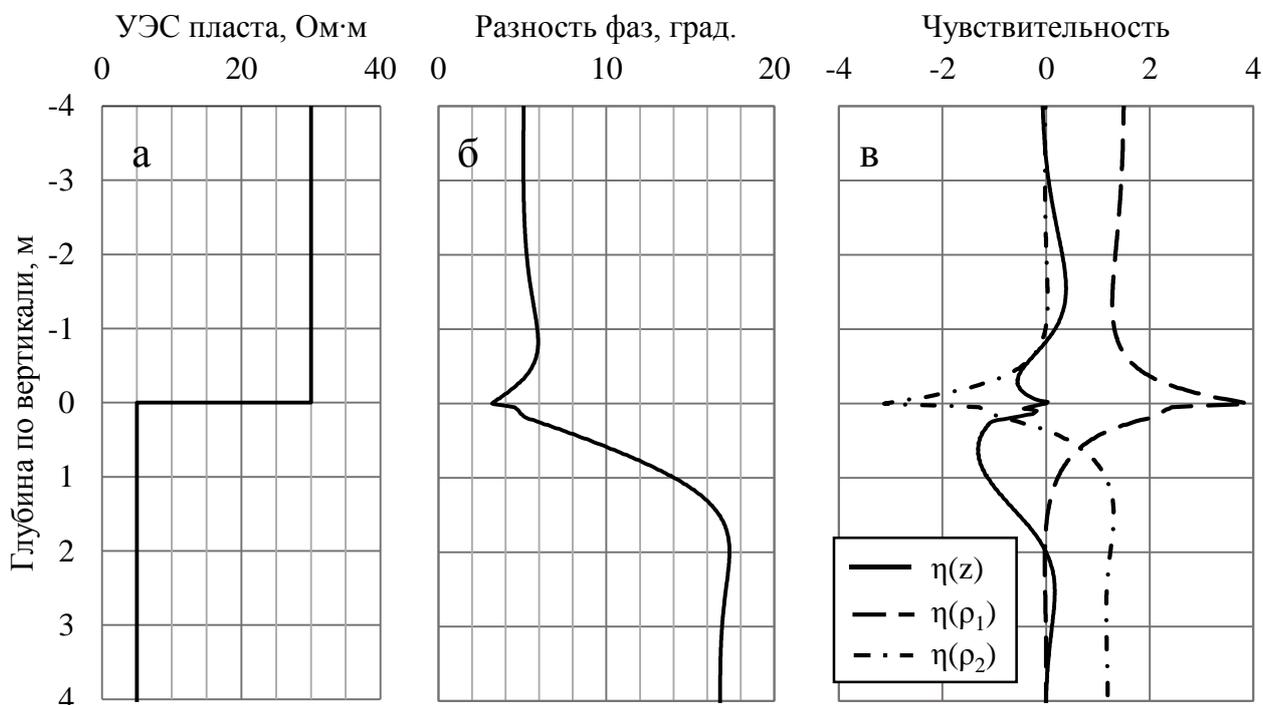


Рис. 1. Разность фаз зонда ВЭМКЗ длиной 2,0 м, рассчитанная для двухслойной среды при зенитном угле 85° . Параметры модели (а). Разность фаз зонда длиной 2,0 м (б). Чувствительности к параметрам модели (в)

Поиск интервалов пересечения границы пластов можно выполнять при помощи алгоритма Рамера-Дугласа-Пекера [5]. Получаемая густота точек регулируется с помощью предельного расстояния от произвольной точки на кривой до прямой, проведенной между двумя точками этой кривой. Результат его работы, по данным длинного зонда ВЭМКЗ, записанным с шагом по скважине 0.2 м, показан на рис. 2. Алгоритм возвращает кривую со значительно меньшим числом точек, чем в исходной. Величина производной по парам соседних точек вблизи границ пластов выше, чем на интервалах мощных пластов. По величине этой производной можно регулировать шаг между точками и таким образом увеличивать вес интервалов пересечения границ пластов и уменьшать вес участков с однородными пластами.

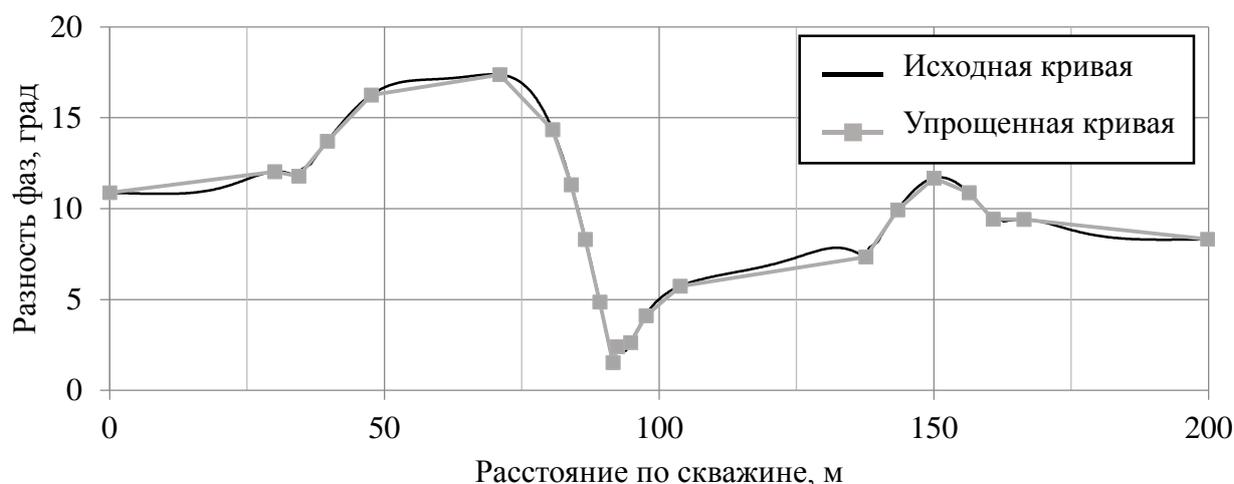


Рис. 2. Данные зонда длиной 2,0 м в горизонтально-слоистой среде при зенитном угле скважины 85° и построенная по ним при помощи алгоритма Рамера-Дугласа-Пекера упрощенная кривая

Таким образом, интерпретация данных исследований методом электромагнитного каротажа горизонтальных участков скважин требует применения новых алгоритмов, которые отличаются от тех, что используются для вертикальных стволов. С их помощью можно повысить скорость вычислений и точность результатов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горбатенко А.А., Сухорукова К.В. Особенности сигналов высокочастотного электромагнитного каротажа в наклонных и горизонтальных скважинах // Каротажник. - 2014. - Вып. 245. - С. 42–55.
2. Cheryauka, A.B. High-frequency electromagnetic soundings for boreholes with horizontal completion / A.B. Cheryauka, M.I. Epov, M.N. Nikitenko // 58th EAGE Conf. and Techn. Exhib., Amsterdam, 3-7 June, 1996: Extend. Abstr. Book. Vol. 1. - Zeist, 1996. - P. 170.
3. Эпов М.И., Ельцов И.Н., Соболев А.Ю. Выделение пластов в терригенном разрезе по данным ВИКИЗ // Каротажник. - 1999. - Вып. 57. - С. 58–69.

4. Горбатенко А.А., Вологдин Ф.В., Сухорукова К.В. Моделирование влияния неровностей стенки скважины и эксцентриситета каротажного зонда на показания высокочастотного электромагнитного каротажного зондирования в скважинах с высокопроводящим раствором // Каротажник. - 2013. - Вып. 224. - С. 54–64.

5. Urs Ramer. An iterative procedure for the polygonal approximation of plane curves // Computer Graphics and Image Processing. - 1972. - Vol. 1., Issue 3. - P. 244–256.

© А. А. Горбатенко, К. В. Сухорукова, 2015