

**СИГНАЛЫ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КАРОТАЖА
ПРИ ПЕРЕСЕЧЕНИИ ТОНКОСЛОИСТЫХ И АНИЗОТРОПНЫХ МОДЕЛЕЙ
СУБГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СКВАЖИНОЙ**

Е. В. Копытов

**Научный руководитель доцент К. В. Сухорукова
Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Россия**

За последние десятилетия при разработке месторождений нефти и газа широкое распространение получило направленное бурение наклонных и горизонтальных скважин. Традиционный подход к интерпретации данных высокочастотного электромагнитного каротажного зондирования (ВЭМКЗ) основывается на трансформации в кажущееся удельное электрическое сопротивление значений разности фаз электродвижущей силы (э.д.с.) в двух приемных катушках или численной инверсии. Приборы ВЭМКЗ в составе современных комплексов регистрируют дополнительно отношение амплитуд э.д.с. Разность фаз и отношение амплитуд по-разному интегрируют отклики от геоэлектрических объектов, поэтому их совместная интерпретация позволяет уменьшить неоднозначность решения обратной задачи. В силу слабой изученности отношения амплитуд и отсутствия методических приемов эта характеристика сигнала сейчас практически не используется. В работе представлен возможный сценарий совместной интерпретации разности фаз и относительных амплитуд синтетического сигнала зонда ВЭМКЗ длиной 2 метра (частота 0.875 МГц), позволяющий отличать мощный изотропный пласт от пластов, обладающих анизотропией, и тонкослоистых пачек.

В ходе постседиментационных преобразований может происходить карбонатизация пород коллектора, в результате чего в коллекторах наблюдается переслаивание тонких карбонатных прослоев с высоким сопротивлением с более проводящими терригенными породами. Тонкослоистое строение коллектора находит своё отражение в данных высокочастотного электромагнитного каротажа, полученных в субгоризонтальных скважинах (зенитный угол 85°) – диаграммы кажущегося сопротивления, рассчитанного на основе разности фаз зонда ВЭМКЗ длиной 2 метра, мало отличимы от аналогичных диаграмм, полученных в трёхслойных моделях среды с эквивалентным сопротивлением той части коллектора, где происходит переслаивание (наблюдается эквивалентность моделей).

Рассмотрим высококонтрастную модель среды – переслаивание шести тонких пластов с удельным электрическим сопротивлением (УЭС) 100 Ом·м, мощностью 0.2 м и пластов с УЭС 10 Ом·м мощностью 0.5 м; УЭС вмещающих пород 10 Ом·м (рис. А). Наличие описанной эквивалентности иллюстрирует подобранная трёхслойная модель среды (рис. Б) (высокоомный пласт с УЭС 28 Ом·м, мощностью 3.7 м, УЭС вмещающих пород – 10 Ом·м). На рис. В представлена модель с микроанизотропным пластом с величинами эффективного горизонтального и вертикального сопротивления (14.12 и 39.19 Ом·м соответственно), вычисленными на основе следующих формул [1]:

$$\rho_h^{\text{эф}} = \frac{\sum_i h_i}{\sum_i \rho_i} \cdot \rho_v^{\text{эф}} = \frac{\sum_i \rho_i \cdot h_i}{\sum_i h_i} \cdot \rho_m^{\text{эф}} = \sqrt{\rho_v^{\text{эф}} \cdot \rho_h^{\text{эф}}}, \quad (1)$$

где $\rho_h^{\text{эф}}$ – эффективное горизонтальное сопротивление, $\rho_v^{\text{эф}}$ – эффективное вертикальное сопротивление, $\rho_m^{\text{эф}}$ – эффективное кажущееся сопротивление, h_i, ρ_i – мощность и сопротивление i -ого слоя.

Диаграммы кажущегося сопротивления, полученные с использованием разности фаз и относительных амплитуд для моделей среды с переслаиванием, для подобранной трёхслойной модели и модели с анизотропным пластом близки по форме и значениям, однако существуют некоторые характерные особенности (изломы внутри интервала переслаивания и на границах пласта, различные кривизны). Отметим тот факт, что кривые кажущегося сопротивления, построенные по разности фаз и отношению амплитуд, во всех трех моделях среды расходятся в диапазоне глубин от 0 до 3.7 м.

Для проверки существования аналогичной эквивалентности для тонкослоистых пачек большей мощности рассчитаны значения кажущихся сопротивлений (по разности фаз и отношению амплитуд) для высококонтрастной модели с переслаиванием 15 тонких пропластков с УЭС 100 Ом·м, мощностью 0.2 м и вмещающих пород, УЭС которых составляет 10 Ом·м, расстояние между соседними высокоомными пластами – 0.5 м (рис. Г). Аналогично рассмотренному выше случаю подобрана эквивалентная по величине кажущегося сопротивления, вычисленного по разности фаз, трёхслойная модель среды. Построена модель с микроанизотропным пластом с величинами эффективного горизонтального и вертикального сопротивления, вычисленными на основе формул (1). На рис. Д представлены диаграммы, полученные для подобранной трёхслойной модели (высокоомный пласт с УЭС 26 Ом·м, мощностью 11 м, вмещающие породы – 10 Ом·м); на рис. Е – диаграммы, полученные для модели с микроанизотропным слоем (эффективное горизонтальное сопротивление – 13.7 Ом·м, эффективное вертикальное сопротивление – 37 Ом·м). Необходимо отметить, что диаграммы кажущегося сопротивления, построенные по разности фаз и отношению амплитуд, для моделей среды с тонкослоистой пачкой и анизотропным слоем расходятся в диапазоне глубин от 0 до 10 м, в то время как аналогичные диаграммы для модели изотропного пласта сходятся в диапазоне глубин от 4 до 6 м.

Для того чтобы найти минимальную мощность, при которой можно утверждать, что пласт является тонкослоистым или анизотропным, основываясь на разнице кажущихся сопротивлений, полученным по разным характеристикам э.д.с. в субгоризонтальной скважине, были рассмотрены зависимости нормированной разности кажущихся сопротивлений, вычисленных по разности фаз и отношению амплитуд, в центре высокоомного пласта от его толщины в трёхслойных моделях среды (высокоомный пласт с УЭС 28 или 6.2 Ом·м, вмещающие породы – 10 или 4 Ом·м). Величина нормировки соответствовала среднему арифметическому кажущихся сопротивлений, вычисленных на основе разности фаз и отношения амплитуд. При мощности однородного изотропного пласта более 8 м (для высококонтрастной модели) и 4 м (для менее контрастной модели) относительная разница между значениями кажущихся сопротивлений, полученными по разным характеристикам э.д.с., в центре однородного пласта становится меньше 5 %.

Таким образом, если при изучении разреза, содержащего мощный высокоомный пласт, пересекаемый субгоризонтальной скважиной, кривые кажущегося сопротивления, рассчитанные по разности фаз и отношению амплитуд, не сближаются в центре слоя, то, вероятнее всего, он представлен переслаиванием тонких высокоомных прослоев либо микроанизотропными породами. Проведены аналогичные расчёты в менее контрастных моделях, которые подтверждают сделанные выводы.

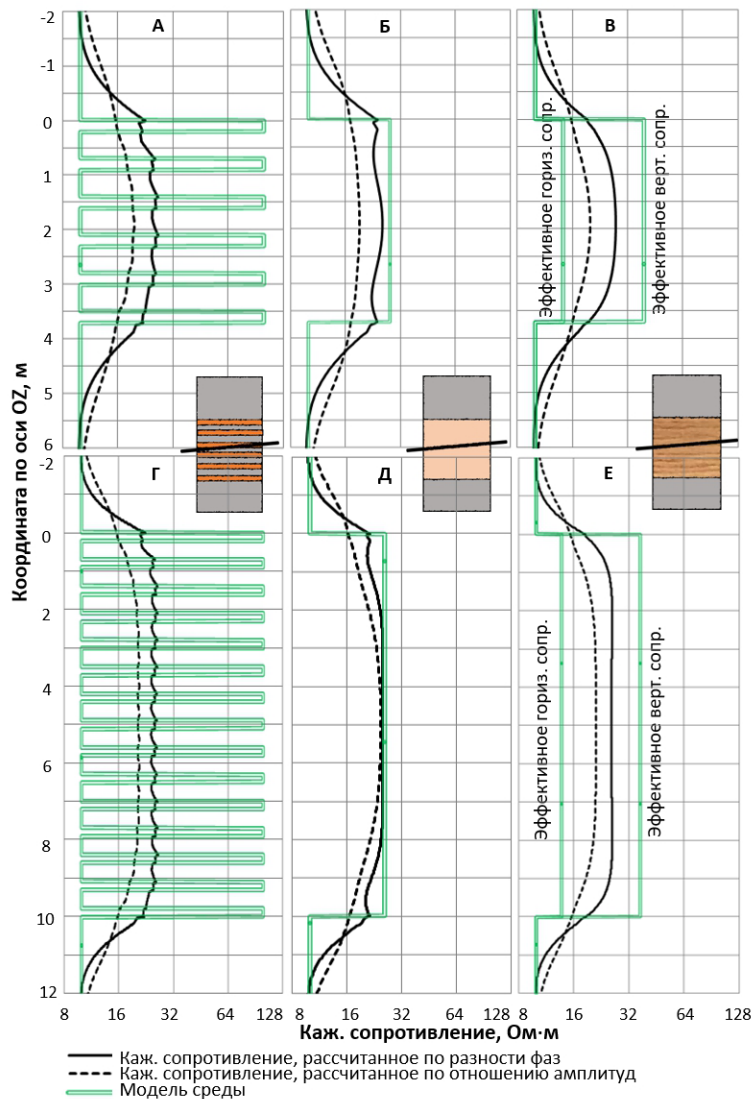


Рис. Диаграммы кажущегося сопротивления, полученные по разности фаз и отношению амплитуд двухметрового зонда высокочастотного электромагнитного каротажного зондирования, в высококонтрастных тонкослоистых моделях среды (А и Г), трёхслойных моделях среды с изотропным пластом (Б и Д), трёхслойных моделях среды с анизотропным пластом (В и Е). Зенитный угол 85°

Литература

1. Каринский А.Д., Даев Д.С. Результаты 2D-моделирования для зондов электромагнитного и электрического каротажа при различной толщине прослоев в макроанизотропных пластах // Геофизика. – Москва, 2011. – № 3. – С. 32 – 42.