

## **ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС MCWD ДЛЯ ИНТЕРПРЕТАЦИИ СВЕРХГЛУБИННЫХ И АЗИМУТАЛЬНО-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КАРОТАЖА ВО ВРЕМЯ БУРЕНИЯ**

### ***Михаил Владимирович Свиридов***

Новосибирский технологический центр компании «Бейкер Хьюз», 630128, Россия, г. Новосибирск, ул. Кутателадзе, 4а, научный сотрудник, тел. (383)332-94-43 (доб. 147), e-mail: Mikhail.Sviridov@bakerhughes.com

### ***Антон Павлович Мосин***

Новосибирский технологический центр компании «Бейкер Хьюз», 630128, Россия, г. Новосибирск, ул. Кутателадзе, 4а, научный сотрудник, тел. (383)332-94-43 (доб. 141), e-mail: Anton.Mosin@bakerhughes.com

### ***Юрий Евгеньевич Антонов***

Новосибирский технологический центр компании «Бейкер Хьюз», 630128, Россия, г. Новосибирск, ул. Кутателадзе, 4а, кандидат технических наук, научный сотрудник, тел. (383)332-94-43 (доб. 140), e-mail: Yuriy.Antonov@bakerhughes.com

### ***Сергей Викторович Мартаков***

Хьюстонский технологический центр компании «Бейкер Хьюз», 77073-5114, США, шт. Техас, г. Хьюстон, ул. Рэнкин Роуд, 2001, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, тел. +1 713 879 4047, e-mail: Sergey.Martakov@bakerhughes.com

Для эффективной проводки ствола скважины на месторождении углеводородов (задача геонавигации) необходимо во время бурения уметь определять параметры разбуриваемой среды, вовремя обнаруживать приближающиеся геологические объекты и, соответственно, изменять направление бурения с учетом полученной информации.

Зачастую геонавигация осуществляется с помощью приборов электромагнитного каротажа, предоставляющих интерпретатору широкий набор независимых многокомпонентных измерений. При этом глубинность измерений и их азимутальная чувствительность имеют решающее значение, поскольку позволяют не только вовремя обнаруживать приближающиеся объекты, но и определять их пространственную ориентацию относительно ствола скважины. Интерпретация таких измерений достаточно сложна и стандартные техники зачастую не дают приемлемых результатов, что может привести к ошибкам в процессе геонавигации.

Программный комплекс MCWD был разработан для анализа, предварительной обработки и совместной интерпретации разнообразных измерений электромагнитного каротажа в процессе бурения, включая сверхглубинные и азимутально-чувствительные. Ядром комплекса является алгоритм инверсии, основанный на методе наиболее вероятного ансамбля. Программное обеспечение отличается высокой производительностью, что позволяет решать задачу геонавигации в реальном времени.

Работоспособность программного комплекса MCWD продемонстрирована на примере интерпретации данных, полученных во время полевых испытаний прибора EDAR на тестовом полигоне BETA (США, штат Оклахома). В результате совместной интерпретации измерений приборов электромагнитного каротажа во время бурения EDAR и AziTrak восстановлена геоэлектрическая модель среды. Отмечена хорошая согласованность модели с результатами исследования керна. Приведена оценка глубинности каротажных измерений.

**Ключевые слова:** электромагнитный каротаж, инверсия данных каротажа во время бурения, программный комплекс MCWD, геонавигация, проводка ствола скважины, прибор AziTrak, прибор EDAR, полигон Baker Experimental Test Area (BETA).

## MCWD SOFTWARE PACKAGE FOR INTERPRETATION OF EXTRA-DEEP AND AZIMUTHAL LWD RESISTIVITY DATA

### *Mikhail V. Sviridov*

Baker Hughes Novosibirsk Technology Center, Russia, 630128, Novosibirsk, 4A Kutateladze St., Scientist, tel. (383)332-94-43 (ext. 147), e-mail: Mikhail.Sviridov@bakerhughes.com

### *Anton P. Mosin*

Baker Hughes Novosibirsk Technology Center, Russia, 630128, Novosibirsk, 4A Kutateladze St., Scientist, tel. (383)332-94-43 (ext. 141), e-mail: Anton.Mosin@bakerhughes.com

### *Yuriy E. Antonov*

Baker Hughes Novosibirsk Technology Center, Russia, 630128, Novosibirsk, 4A Kutateladze St., PhD, Scientist, tel. (383)332-94-43 (ext. 140), e-mail: Yuriy.Antonov@bakerhughes.com

### *Sergey V. Martakov*

Baker Hughes Houston Technology Center, 2001 Rankin Road, Houston, Texas 77073-5114, USA, PhD, Senior Scientist, tel. +1 713 879 4047, e-mail: Sergey.Martakov@bakerhughes.com

For the effective placement of a producing well in an oilfield (geosteering task), it is necessary to estimate in real time the parameters of the formation we are drilling in, to detect the approaching geological objects in time and to correct the drilling direction based on the obtained information.

Reservoir navigation is very often performed using LWD resistivity tools providing a wide range of independent multi-component measurements. The depth of investigation of the measurements and their azimuthal sensitivity plays a very important role in geosteering decision making because they enable not only the early detection of approaching geological objects but to determine their orientation relative to the wellbore. However, the interpretation of such measurements is rather difficult, so the conventional approaches may not give adequate results and can lead to the incorrect geosteering decisions.

The MCWD software package has been developed for the processing, analysis and joint interpretation of various LWD resistivity measurements, including extra-deep and azimuthal resistivity. The kernel of MCWD software is the inversion algorithm based on the method of the most probable parameter combination. High performance of MCWD software enables the real time interpretation of resistivity data and helps to make proper geosteering decisions.

A field case study from the Baker Experimental Test Area (BETA site), Oklahoma, USA, demonstrated the performance of the MCWD software package. Resistivity data was measured by the recently released EDAR tool during the field test. The geo-electrical formation model has been recovered as a result of joint interpretation of EDAR and AziTrak LWD resistivity data. A good correlation between the recovered model and results of core analysis has been shown. An estimation of depth of detection has been presented for each resistivity tool.

**Key words:** resistivity logging, inversion of LWD resistivity data, MCWD software, geosteering, reservoir navigation, AziTrak tool, EDAR tool, Baker Experimental Test Area (BETA).

Традиционно для задач геонавигации использовались приборы электромагнитного каротажа во время бурения с глубиной измерений до 5 м [1, 2]. При этом в неблагоприятных случаях (например, в условиях высокопроводящей среды вокруг ствола скважины) глубина измерений оказывалась существенно меньшей, что осложняло надежность процесса. Недавно выпущенные

каротажные приборы следующего поколения, такие как EDAR [3], обладают значительно большей глубиной измерений (до 30 м). Для работы с новыми сверхглубинными, азимутально-чувствительными измерениями, а также для анализа, предварительной обработки и совместной интерпретации любой другой комбинации измерений электромагнитного каротажа во время бурения был разработан программный комплекс MCWD [4].

В целях тестирования возможностей приборов нового поколения и для оценки эффективности программного комплекса MCWD в реальных условиях были проведены полевые испытания на полигоне ВЕТА в штате Оклахома, США. Геологическое строение данного района хорошо изучено методами ядерного и электромагнитного каротажа с высокой разрешающей способностью, а также исследованиями на керне. В ходе тестирования было пробурено две горизонтально-наклонных скважины, осуществлен каротаж во время бурения приборами AziTrak и EDAR, проведена совместная инверсия каротажных измерений. Полученные геоэлектрические модели среды и оценка глубинности измерений приборов приведены на рис. 1 и 3. Можно отметить хорошую согласованность моделей с известным геологическим строением района. Качество инверсии на примере сверхглубинных и азимутально-чувствительных измерений EDAR можно оценить из рис. 2 и 4.

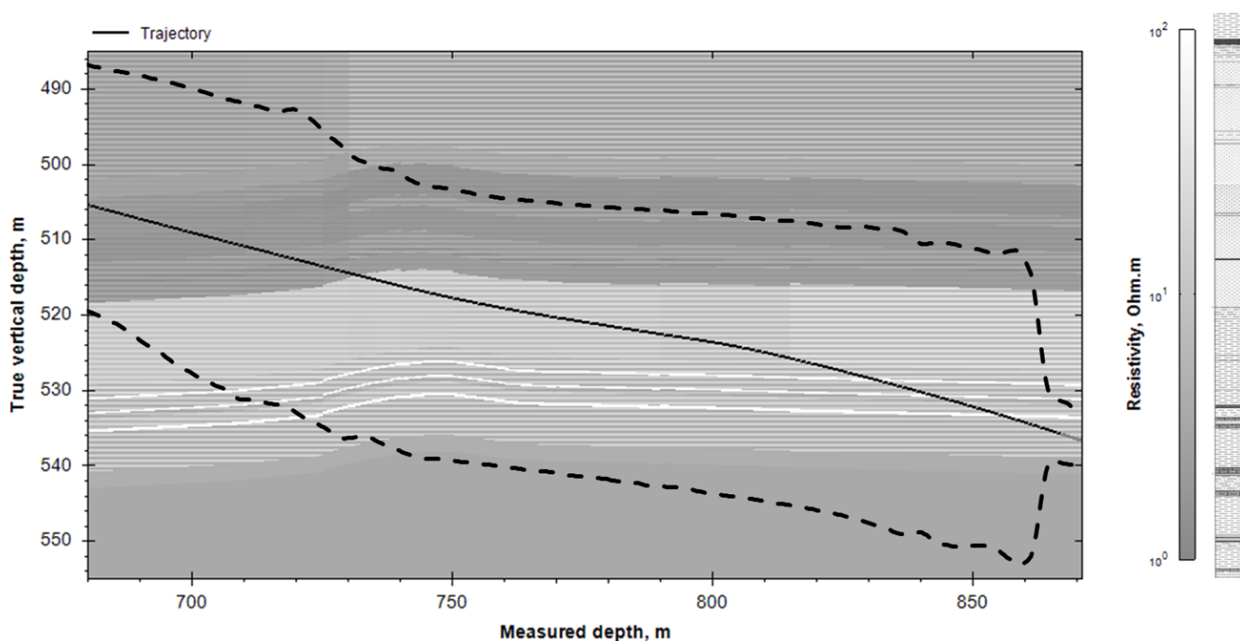


Рис. 1. Геоэлектрическая модель среды, полученная посредством совместной инверсии измерений зондов EDAR и AziTrak для участка скважины № 1 на полигоне ВЕТА.

По горизонтальной оси отложено расстояние в метрах вдоль скважины, траектория которой отмечена сплошной линией черного цвета. По вертикальной оси отложено восстановленное расстояние по вертикали в метрах до границ раздела пластов. Восстановленные значения УЭС пластов в Ом·м показаны цветом (соответствует палитре справа). Пунктирные линии черного цвета ограничивают область среды, которая вносит вклад в измерения зондов. Типичное строение района ВЕТА показано на геологической колонке справа

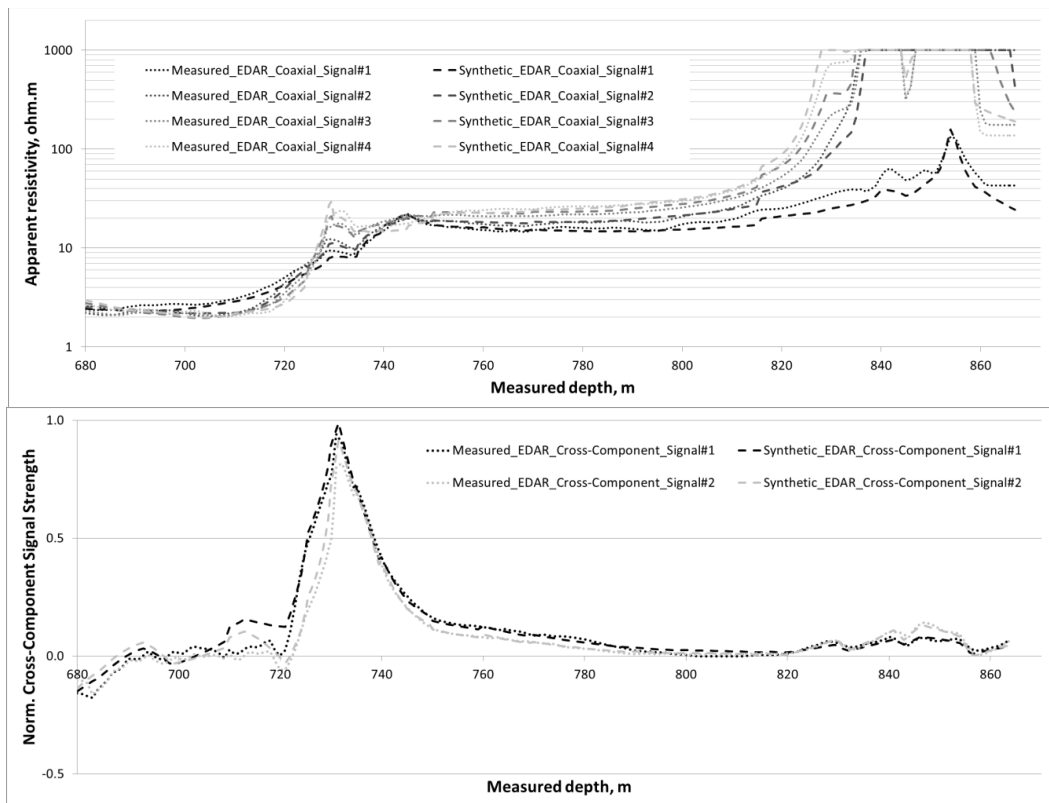


Рис. 2. Измеренные (пунктирные линии) и подобранные в ходе инверсии (показаны точками) сигналы прибора EDAR на участке скважины № 1

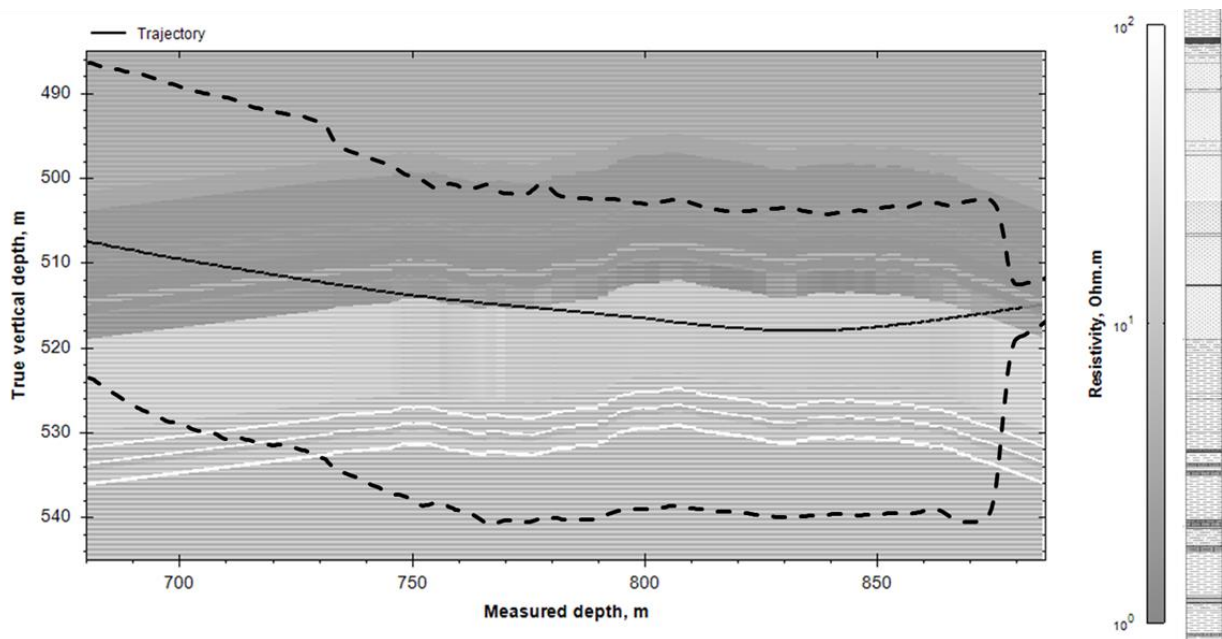


Рис. 3. Геоэлектрическая модель среды, полученная посредством совместной инверсии измерений зондов EDAR и AziTrak для участка скважины №2 на полигоне ВЕТА.

По горизонтальной оси отложено расстояние в метрах вдоль скважины, траектория которой отмечена сплошной линией черного цвета. По вертикальной оси отложено восстановленное расстояние по вертикали в метрах до границ раздела пластов. Восстановленные значения УЭС пластов в Ом·м показаны цветом (соответствует палитре справа). Пунктирные линии черного цвета ограничивают область среды, которая вносит вклад в измерения зондов. Типичное строение района ВЕТА показано на геологической колонке справа.

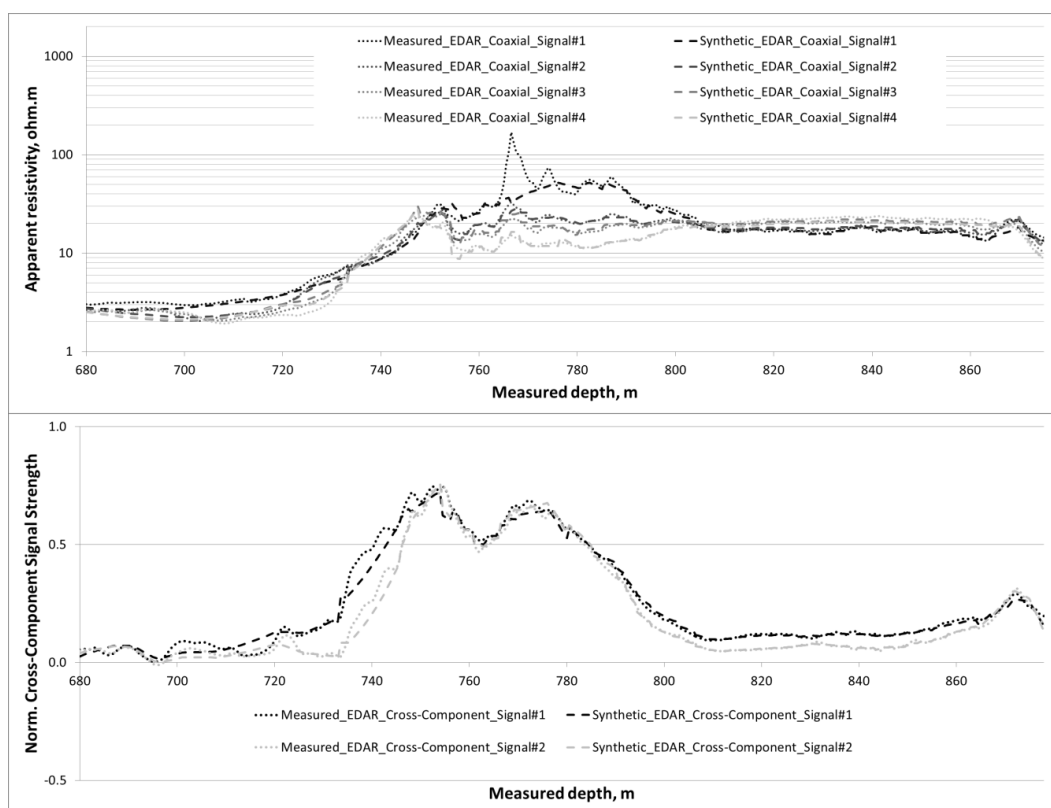


Рис. 4. Измеренные (пунктирные линии) и подобранные в ходе инверсии (показаны точками) сигналы прибора EDAR на участке скважины № 2

В работе рассмотрен пример интерпретации измерений электромагнитного каротажа с тестового полигона ВЕТА посредством программного комплекса MCWD. Восстановлена геоэлектрическая модель среды, приведены оценки глубинности измерений и качества выполненной интерпретации.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. A new slimhole multiple propagation resistivity tool / Meyer W.H., Thompson L.W., Wisler M.M., Wu. J.Q. // SPWLA 35th Annual logging Symposium (Tulsa, Oklahoma, USA, June 19-22, 1994). - Paper NN.
2. Navigating and Imaging in Complex Geology With Azimuthal Propagation Resistivity While Drilling / Bell C., Hampson J., Eadsforth P., Chemali R.E., Helgesen T.B., Meyer W.H, Randall R., Peveto C., Poppitt A., Signorelli J., Wang T. // SPE Annual Technical Conference and Exhibition (San Antonio, Texas, USA, September 24-27, 2006). - SPE-102637.
3. Verification Testing of a New Extra-Deep Azimuthal Resistivity Measurement / Hartmann A., Vianna A., Maurer H.-M., Sviridov M., Martakov S., Lautenschläger U., Antonsen F., Olsen P.A., Constable M.V. // SPWLA 55th Annual logging Symposium (Abu Dhabi, United Arab Emirates, May 18-22, 2014). - Paper MM.
4. Sviridov M., Mosin A., Antonov Yu., Nikitenko M., Martakov S., Rabinovich M. New Software for Processing of LWD Extradep Resistivity and Azimuthal Resistivity Data // SPE Reservoir Evaluation & Engineering. - 2014. - V. 17. - P. 109–127.

© М. В. Свиридов, А. П. Мосин, Ю. Е. Антонов, С. В. Мартаков, 2015