

Сравнительный анализ микрозондов электрического каротажа различной геометрии

© Н. А. Миронцов, 2012

Институт Геофизики НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 22 июня 2011 г.

Представлено членом редколлегии В. Н. Шуманом

Розглянуто різні варіанти розташування електродів мікрозондів на поверхні «башмака»: AMNB, NAMB, BAMN, для яких за допомогою математичного моделювання досліджено питання якісного розчленовування тонкошаруватого розрізу. На основі порівняльного аналізу отриманих результатів запропоновано оптимальну геометрію мікрозондів, що дає змогу кількісно інтерпретувати дані мікрокаротажу.

Different variants of microprobe electrodes arrangement on the surface of a «shoe»: AMNB, NAMB, BAMN, AMNB, NAMB, BAMN, have been considered for which the problem of qualitative partitioning of thin-layered section has been investigated. Optimal geometry of microprobes that allows to interpret quantitatively the data of micro-logging has been proposed on the base of comparative analysis of the obtained results.

Введение. Один из широко применяемых на практике методов выделения пластов-коллекторов (микрокаротаж) заключается в одновременном использовании нескольких, как правило двух, микрозондов различной глубинности [Пирсон, 1996; 2005], расположенных на так называемом «башмаке» — части зонда, прижимающейся к стенке скважины таким образом, что электроды находятся в непосредственном гальваническом контакте со стенкой скважины. Традиционно на практике используют градиент-зонд А0.025М0.025N и потенциал-зонд А0.5М, которые располагают на поверхности «башмака», плотно прилегающей к стенке скважины в процессе каротажа [Anderson, 2001]. Обратный токовый электрод В обоих зондов считается удаленным на бесконечность (как и измерительный электрод N потенциал-зонда) [Anderson, 2001]. Однако конструктивно разместить электроды В и N на бесконечности не удается и потому их располагают на конечном расстоянии от остальных электродов (как правило, на корпусе зонда, каротажном кабеле, обратной стороне «башмака»). Расположение на корпусе зонда или на каротажном кабеле приводит к зависимости коэффициентов зондов от диаметра скважины (из-за наличия каверн и глинистой корки изменение диаметра скважины при плотном прижатии башмака к стенке скважины изменяет и взаимное расположение электродов). Кроме того, расположение электродов В и N

потенциал-зонда не на поверхности «башмака», прилегающей к стенке скважины, вызывает зависимость показаний зондов от величины удельного электрического сопротивления (у.э.с.) бурового раствора (так как часть линий тока неизбежно проходит по скважине). В данной работе рассмотрена возможность эффективного выделения пластов-коллекторов путем использования нескольких разноглубинных микрозондов при расположении всех их электродов на поверхности «башмака», прилегающей к стенке скважины, что позволяет избежать указанных выше недостатков.

Также приведен сравнительный анализ характеристик зондов при различных возможных схемах расположения электродов: классической AMNB (БКЗ), так называемой фокусировочной NAMB (ФКЗ) и дипольной BAMN (ДКЗ). Этими тремя типами исчерпываются, с учетом теоремы о взаимности расположения электродов [Дахнов, 1967], возможные варианты перестановок электродов А, В, М, N. Конструктивное ограничение на длину башмака (не более 0,2 м) и на минимальное расстояние между электродами (не менее 0,2 м) существенно ограничивает варианты возможных значений межэлектродных расстояний.

Основная решаемая микрозондами задача: наиболее эффективное качественное выделение проницаемых пластов (на которых показания микрозондов различной глубинности существенно различаются между собой). Также

будет рассмотрен вопрос возможности количественной интерпретации данных микрокаротажа для рассматриваемой геометрии зондов.

Геометрия микрозондов. Фокусируровочные зонды. Существенное отличие схемы фокусируровочных зондов — использование различных токовых электродов В в различных зондах. Это может быть достигнуто временным разделением (один генератор) или частотным разделением (два генератора) питания зондов. Токовые и измерительные электроды чередуются, при этом электроды внутренней пары (М, В) и внешней (А, N) расположены симметрично относительно центра зонда — точки записи (рис. 1, а) [Фролов и др., 2006].

Используя отношение расстояний между парами электродов:

$$d = \frac{|BM|}{|AM|} = \frac{|AN|}{|AM|},$$

запишем коэффициент зонда:

$$K = 2\pi \frac{|BM|d}{d^2 - d - 1}.$$

Классические градиент зонды. К ним будем относить зонды с классической схемой расположения электродов АМNB (рис. 1, б).

Дипольные зонды. Еще одна возможная схема расположения электродов — схема, при которой между парой токовых электродов нет ни одного измерительного. В такой схеме пара токовых представляют собой диполь относительно измерительных электродов (рис. 1, в).

Результаты и анализ. Моделирование микрозондов, один или несколько электродов ко-

торых расположены на стенке башмака, прижатого к стенке скважины, принципиально является 3D задачей. В настоящей статье эта задача решалась с помощью математического 3D моделирования поля электрического потенциала, использующего представление среды в виде сетки резисторов, описывающей электроинтегратор (например, [Альпин, 1962; Миронцов, 2007]), но в отсутствие аксиальной симметрии. Одним из основных результатов моделирования стал вывод о высокой эффективности применения метода полных токов для решения 3D задач электрического каротажа.

При переходе от пронизываемого пласта к непроницаемому считалось, что гальванический контакт между электродами и породой сохраняется.

Расчет для анализа характеристик микрозондов проводился, в частности, для модели, состоящей из глинистой корки и однородной ближней зоны пласта. Мощность глинистой корки $h_{ГК}$ изменялась от 0,25 до 2 см. Заметим, что именно в этом диапазоне показания микробокового каротажа практически не зависят от наличия глинистой корки, а значит, единственным методом по определению ее свойств остается микрокаротаж. Отношение χ — это отношение у.э.с. ближней зоны пласта $\rho_{П}$ к у.э.с. глинистой корки $\rho_{ГК}$ — изменялось от 0,01 до 100. На рис. 2 представлены графики зависимости кажущегося сопротивления $\rho_{К}$, нормированного на у.э.с. глинистой корки от χ , и приведенные в таблице величины разницы $\rho_{К}$ для различных пар зондов при наиболее актуальных для практики значениях χ .

Оказалось, что применение фокусируровочных зондов, для которых $d \neq 1$ (N0.04A0.02M0.04B, N0.06A0.02M0.06B), неэффективно, поскольку в модели глинистая корка+пласт для 3D среды зависимость $\rho_{К}/\rho_{ГК} = \rho_{К}/\rho_{ГК}(\rho_{П}/\rho_{ГК})$ немонотонная (см. рис. 2). Соответственно такой характер зависимости делает неоднозначной интерпретацию данных каротажа этих зондов. Аналогичную особенность может иметь зависимость $\rho_{К}/\rho_{С} = \rho_{К}/\rho_{С}(\rho_{П}/\rho_{С})$ ($\rho_{С}$ — у.э.с. бурового раствора) в одномерной модели скважина+пласт для 2D среды [Фролов и др., 2006].

Характеристики фокусируровочных зондов с $d \neq 1$ уступают характеристикам зондов АМNB и ВАМN. При малых χ ФЗК количественно незначительно лучше выделяют коллекторы.

С увеличением толщины глинистой корки ($h_{ГК}$) разница показаний разноглубинных зондов сохраняется, однако, зависимость такой разницы от $h_{ГК}$ немонотонная.

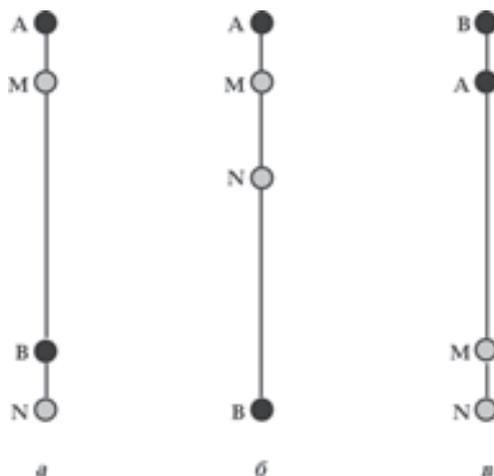


Рис. 1. Схема электродной системы зондов: а — ФКЗ; б — БКЗ; в — ДКЗ.

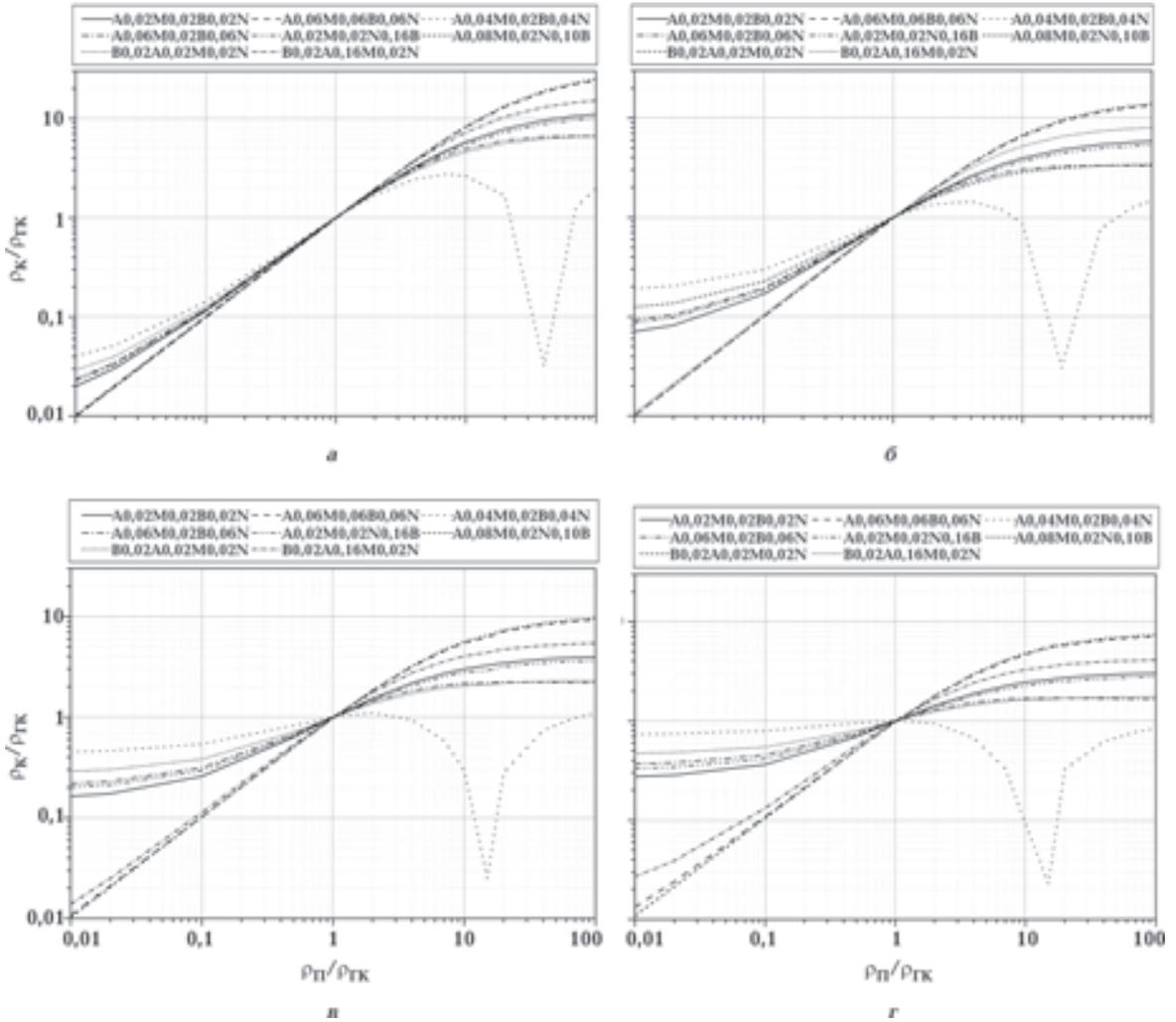


Рис. 2. Палетка различных типов зондов микроаротажа. Параметры глинистой корки: а — 0,25 см, б — 0,5 см, в — 0,25 см, г — 1 см.

Разница в показаниях микрозондов для различных параметров глинистой корки

Тип микрозонда	$\chi=4$			$\chi=7$			$\chi=10$		
	Мощность глинистой корки, см								
	0,25	0,5	1,0	0,25	0,5	1,0	0,25	0,5	1,0
A0.02N0.02B0.02M	0,49	0,8	1,01	1,39	1,8	1,72	2,36	2,62	2,2
A0.06N0.06B0.06M	(15)	(32)	(53)	(29)	(52)	(76)	(40)	(56)	(90)
A0.04N0.02B0.04M	0,61	0,85	0,86	1,48	1,61	1,32	2,3	2,17	1,59
A0.08N0.02B0.08M	(25)	(59)	(128)	(54)	(135)	(401)	(87)	(252)	(1754)
A0.02M0.02N0.16B	0,61	1,0	1,2	1,69	2,1	2,0	2,84	3,1	2,5
A0.08M0.02N0.10B	(19)	(40)	(66)	(37)	(66)	(95)	(51)	(83)	(112)
B0.02A0.02M0.02N	0,75	1,01	0,96	1,75	1,82	1,41	2,66	2,38	1,5
B0.02A0.16M0.16N	(25)	(46)	(66)	(44)	(69)	(89)	(58)	(84)	(101)

Примечание: в ячейках верхнее значение в Ом·м; нижнее (в скобках) в % относительно меньшего показания из пары.

При моделировании в пачке пластов (рис. 3) оказалось, что только кривые микрозондов классической схемы позволяют надежно вы-

делять проницаемые пласты мощностью 0,3 м. В то же время граничные эффекты для фокусировочных зондов увеличивают минимально

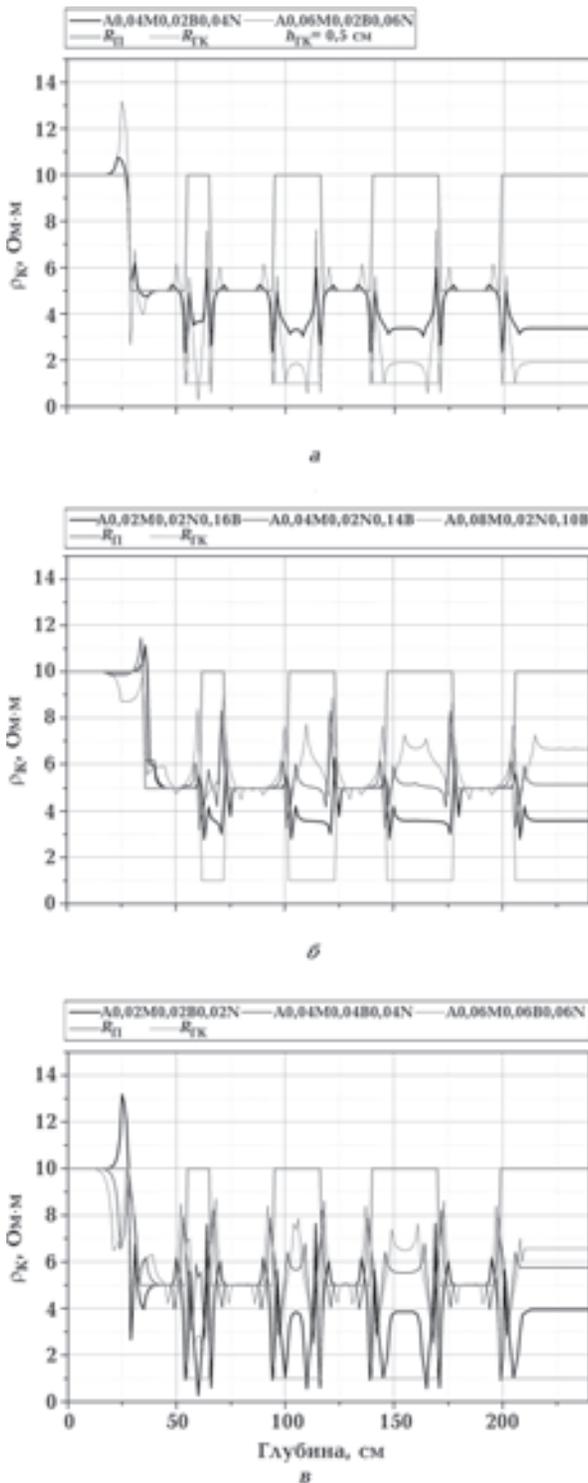


Рис. 3. Кривые микрокаротажа: а — фокусировочных зондов ($d \neq 1$), б — классических зондов, в — фокусировочных зондов ($d = 1$).

Список литературы

Альпин Л. М. Применение сеточного моделирования для решения задач теории электрического ка-

ротажа // Прикл. геофизика. — 1962. — Вып. 34. — С. 198—218.

возможную мощность выделения до 0,5—0,6 м. Применение дипольных зондов оказалось вообще не информативным для пластов ограниченной мощности: в силу значительных граничных эффектов кривые каротажа оказываются слишком искаженными и не позволяют выделить даже границы отдельных пластов. Заметим, что обычно пласт считают проницаемым, если наблюдается положительное расхождение и у.э.с. его части, прилегающей к скважине, превышает у.э.с. нетронутой части более чем на 20—30 %. Такое положительное расхождение отмечается чаще всего в проницаемых песчано-алевролитовых пластах с глинистой коркой небольшой толщины и ее сопротивлением, в несколько раз меньшим у.э.с. зоны проникновения. Оказалось, что рассмотренные типы микрозондов позволяют выделять такие проницаемые пласты, однако, как уже было отмечено, только схема AMNB позволяет однозначно интерпретировать такое выделение.

В ходе моделирования было также отмечено положительное расхождение кривых КС по сравнению с непроницаемыми пластами высокого сопротивления (значения $\rho_{\text{п}}$ более чем в 25—30 раз превышают значения $\rho_{\text{с}}$).

Выводы. По результатам моделирования было установлено следующее:

- применение фокусировочных и дипольных микрозондов не эффективно;
- наиболее эффективной, позволяющей однозначно интерпретировать результат, является классическая схема AMNB;
- для решения 3D задач электрического каротажа хороший результат дает метод полных токов.

Автор выражает глубокую признательность за высказанные замечания, без которых работа не была бы полной, д-ру. физ.-мат. наук В. Н. Шуману и канд. техн. наук Р. С. Челокьяну за внимание к работе и полезное обсуждение результатов.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Украины для молодых ученых, предоставленного Государственным фондом фундаментальных исследований Украины (проект GP/F32/033) и гранта Президиума НАН Украины.

- Дахнов В. Н. Электрические и магнитные методы исследования скважин. — Москва: Недра, 1967. — 368 с.
- Миронцов Н. Л. Метод быстрого решения прямой и обратной задачи электрического каротажа // Докл. НАН Украины. — 2007. — № 2. — С. 138—141.
- Пирсон С. Дж. Справочник по интерпретации данных каротажа. — Москва: Недра, 1996. — 414 с.
- Пирсон С. Дж. Учение о нефтяном пласте. — Мегион: Издательство ЗСК ТПГ, 2005. — 267 с.
- Фролов Ф. Х., Эпов М. И., Могилатов В. С., Борисов Г. А. К обоснованию электрических каротажных зондирований // Геология и геофизика. — 2006. — **47**, № 2. — С. 292—300.
- Anderson B. I. Modeling and inversion methods for the interpretation of resistivity logging tool response. — Paris: Schlumberger Print, 2001. — 377 p.