

Два новых подхода к реализации многозондового бокового каротажа

© Н. Л. Миронцов, 2011

Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 6 октября 2009 г.

Представлено членом редколлегии В. Н. Шуманом

Запропоновано два нові підходи до реалізації електричного каротажу, що дає змогу створити багатозондову апаратуру, яка детально визначає геоелектричні параметри пластів з високою вертикальною та радіальною роздільною здатністю; геометрію і принцип вимірювання апаратури. Проаналізовано різницю між такими типами апаратури та класичною апаратурою, що широко застосовна у країнах СНД та світу. Наведено результати моделювання та реального свердловинного матеріалу. Показано, що запропоновані підходи дають змогу створювати апаратуру конструктивно набагато простішого типу, ніж існуючі, і використовувати її в горизонтально-похилих свердловинах.

Two new approaches have been proposed to realization of electric logging, which allow to create array sonic appliances, which can determine in details geo-electric parameters of the layers with high vertical and radial separating power; geometry and the principle of measurement of the appliances based on the proposed approaches. The difference between these types of appliances and the classical ones widely used in the countries of CIS and the world has been analyzed. The results of modeling and studies of real bore holes material have been given. It has been shown that the approaches proposed make possible to create appliances with much simpler type of design than the existing ones as well as those ones, which can be used in horizontally inclined bore holes.

Вступление. В связи с необходимостью интенсификации добычи углеводородов, от современных геофизических исследований скважин (ГИС) требуют точного определения запасов полезного флюида и возможную скорость его добычи не только для маломощных пластов-коллекторов в вертикальных, но и в горизонтально-наклонных скважинах. Существующая и широко используемая в Украине и странах СНГ аппаратура электрического каротажа (ЭК) этим требованиям ГИС не соответствует.

Удовлетворение этих требований с точки зрения определения геоэлектрических параметров разреза означает: создание многозондовой аппаратуры с различной глубиной исследования; зонды должны обладать как можно более высоким вертикальным разрешением; конструкция зондовой части должна позволять ее размещение в жестком корпусе длиной не более 4 м.

В настоящее время для восстановления значений геоэлектрических параметров разреза создана, например, аппаратура высокочастотного индукционного каротажного изопараметрического зондирования (ВИКИЗ) [Технология ..., 2000], а также аппаратура многозондового индукционного каротажа (ИИК) [Миронцов, 2004; 2009б]. Такие типы аппаратуры, в той или иной мере, удовлетворяют современным требованиям геофизического исследования скважин [Эпов и др., 2001], однако, имеют существенное ограничение: они не применимы в скважинах, заполненных сильнопроводящим буровым раствором (0,1 Ом·м и менее) [Плюснин, 1968], что значительно ограничивает их практическое применение и подразумевает использование в таких случаях аппаратуры ЭК [Дахнов, 1972]. Широко применяемая в настоящее время аппаратура бокового каротажного зондирования (БКЗ) конструктивно не может использоваться в гори-

зонтально-наклонных скважинах (выполнена на гибкой "косе" длиной около 30 м; имеет слабое вертикальное разрешение — длины двух самых больших зондов 6,5 и 8,5 м). Аппаратура HRLA, разработанная и применяемая фирмой Schlumberger [Anderson, 2001], теоретически обладает необходимыми характеристиками, но, с одной стороны, ее конструктивные особенности и точные параметры не разглашаются (видимо с точки зрения сохранения коммерческой тайны) и тем самым исключается возможность ее детального анализа, а с другой стороны, даже поверхностный анализ принципа ее работы и доступной информации о конструкции позволяет сделать вывод о невозможности изготовления чего-то подобного по уровню сложности электроники и конструкции геофизическими предприятиями СНГ. Именно поэтому задача создания аппаратуры ЭК как можно более простой конструкции, с как можно более высоким вертикальным и радиальным пространственным разрешением, способной эксплуатироваться в горизонтально-наклонных скважинах, приобретает все большую актуальность. В настоящей статье рассмотрено два новых принципа ЭК, предложенных автором и позволяющих эффективно определять геоэлектрические параметры маломощных пластов-коллекторов как в вертикальных, так и в горизонтально-наклонных скважинах. Для определенности один метод был назван многозондовый ЭК с "математической фокусировкой" (МЭК-М), другой — многозондовый ЭК с "физической фокусировкой" (МЭК-Ф).

Теория бокового каротажа. Классический боковой каротаж основан на принципе "фокусировки" тока таким образом, чтобы весь ток "стекал" непосредственно в пласт. Это просто достигается размещением по бокам от главного двух электродов равного потенциала (рис. 1). Ток I "стекает" прямо в пласт, и измеряемое кажущееся сопротивление (КС), рассчитанное по формуле

$$\rho = K \frac{U}{I}, \quad (1)$$

где U — разность потенциалов между поверхностями электродов А, At, Ab и "бесконечно" удаленным; K — коэффициент зонда (геометрический фактор) [Миронцов, 2003; 2005], характеризует значение сопротивления пласта, при этом вертикальное разрешение в основ-

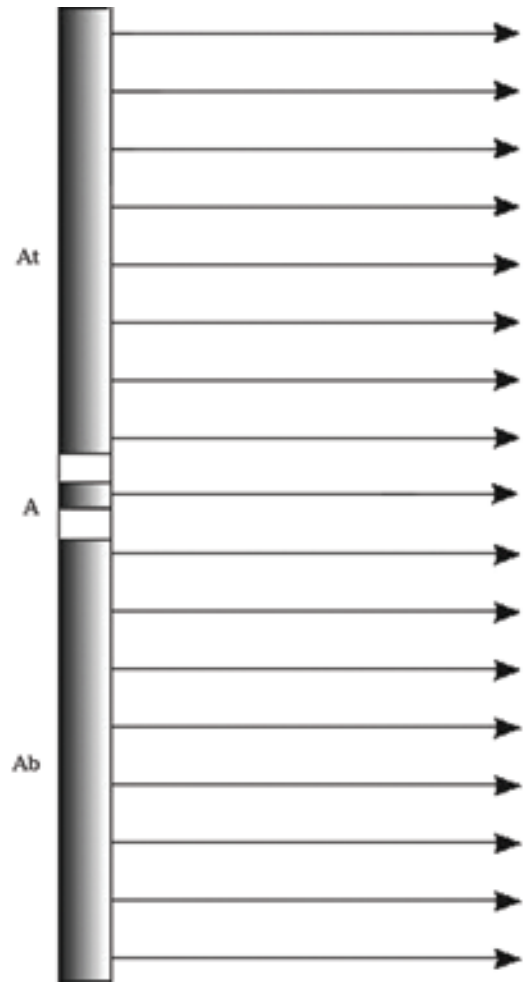


Рис. 1. Геометрия зонда БК-3 (А — центральный электрод; At, Ab — экранные электроды).

ном зависит от расстояния между центральным и боковыми электродами (0,1—0,15 м) [Ильинский, 1971].

Метод имеет ряд недостатков:

- необходимость размещения обратного токового и измерительного электродов на значительном, но конечном расстоянии (на практике на гибкой "косе" длиной 20—25 м) делает невозможным его применение в горизонтально-наклонных скважинах;
- необходимость использования нескольких зондов с различной глубинностью для детального исследования радиального (нормального к оси скважины) распределения удельного электрического сопротивления (у. э. с.) вдоль пласта.

На практике БК-3 используют совместно с аппаратурой БКЗ. Более того, для эффективного использования многозондовой аппарату-

ры, основанной на классическом принципе бокового каротажа, применяется временное, частотное или пространственное разделение работы зондов. Такое разделение ведет к определенным конструктивным сложностям, что, возможно, и объясняет существование в наше время только нескольких успешно применяемых на практике типов аппаратуры: двухзондового каротажа БК-7,9 [Колосов, 1977], аналогичного двухзондового фирмы Hulliborton, фирмы "Сэлка", HRLA Schlumberger (пять зондов, общая длина аппаратуры 7,4 м). Существуют еще и другие типы, но получить достоверную информацию одновременно и о теоретической работоспособности и эффективности, и о широкой успешной практической применимости автору удалось только о вышечеречисленных.

В то же время предложенные методы МЭК-М и МЭК-Ф позволяют без внесения существенных конструктивных изменений или изменений режима питания создать аппаратуру с любым количеством зондов с различной глубиной исследования (единственное ограничение геометрического характера: общая длина аппаратуры и реальные размеры электродов) без применения временного, частотного или пространственного разделение работы зондов.

Теория метода МЭК-М. МЭК-М представляет собой набор обычных градиент-зондов, которые можно использовать и в классическом режиме, тогда измеряемыми величинами будут КС:

$$\tilde{\rho}_i = K_i \frac{U_i}{I}, \quad i = 1, \dots, 14, \quad (2)$$

где I — сила тока "стекающего" в породе (в том числе и по скважине, а не строго в пласт, в отличие от БК) с электрода А; U_i — разница потенциалов, измеряемая между парами измерительных электродов; K_i — коэффициенты зондов (геометрические факторы). Для конкретного рассмотрения автором были предложены следующие градиент-зонды: А0.3М0.1N, А0.4М0.2N, А0.6М0.3N, А0.9М0.4N, А1.3М0.5N, А1.8М0.5N, А2.3М0.5N, N0.5M2.3A, N0.5M1.8A, N0.5M1.3A, N0.4M0.9A, N0.3M0.6A, N0.2M0.4A, N0.1M0.3A. Разработанные алгоритмы решения обратной задачи для такой аппаратуры позволяют довольно детально изучать радиальное распределение ρ э. с. вдоль пласта [Миронцов, 2007; 2009а].

Однако существует еще два различных методических подхода к решению обратной за-

дачи на основании данных МЭК-М. В основу первого подхода положен принцип, аналогичный принципу дивергентного каротажа [Альпин, 1962], с некоторыми существенными конструктивными и методическими изменениями. В предлагаемом подходе используется набор пар измерительных электродов (градиент-зондов), расположенных симметрично по обе стороны от токового электрода А (рис. 2). Оценивая для каждой двух пар измерительных электродов величину тока I_W^i , "стекающего" по скважине, будем рассчитывать величины

$$I_B^i = I - I_W^i, \quad (3)$$

с помощью которых получим выражение для семи КС:

$$\tilde{\rho}_i = K_i \frac{U_i}{I - I_W^i} = K_i \frac{U_i}{I_B^i}, \quad i = 1, \dots, 7. \quad (4)$$

Каждая такая величина КС будет соответствовать КС, измеренной зондом определенной глубины исследования бокового каротажа по формуле (1), так как фактически фор-

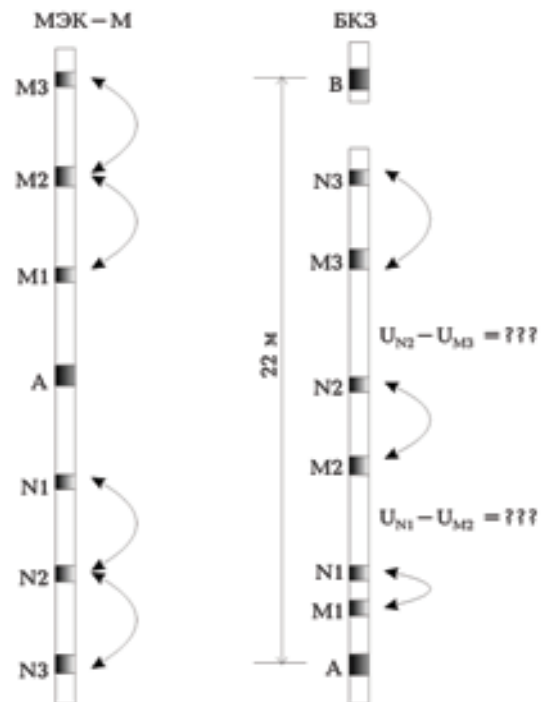


Рис. 2. Геометрия аппаратуры МЭК-М и БКЗ. Различие в измерении разности потенциалов между измерительными электродами.

мула (3) описывает величину тока, "стекающего" строго в пласт (принцип бокового каротажа).

Следует заметить, что (см. формулу (4)) такой подход может привести к неустойчивому результату. Поэтому внесем еще некоторые дополнительные требования в конструкцию МЭК-М — потребуем, чтобы каждый дальний измерительный электрод одной пары являлся ближним измерительным электродом следующей пары. Такая схема расположения измерительных электродов позволяет восстанавливать кривую потенциала вдоль всей оси скважины, в отличие от БКЗ (см. рис. 2). А возможность восстановления кривой потенциала вдоль оси скважины позволит применить подход, который имеет простую для понимания физическую трактовку.

Основан такой подход на принципе зеркального изображения [Тамм, 1976]. Возьмем классический двумерный случай (плоскость), для которого рассмотрим обратную задачу определения ρ_2 у. э. с. полупространства, отделенного плоскостью от другого полупространства с известным значением ρ_1 , в котором находится заряд. Исходными данными будет известное распределение потенциала вдоль прямой, лежащей на плоскости, отделяющей полупространства друг от друга (рис. 3). В этом случае распределение потенциала вдоль этой прямой можно описать простым выражением:

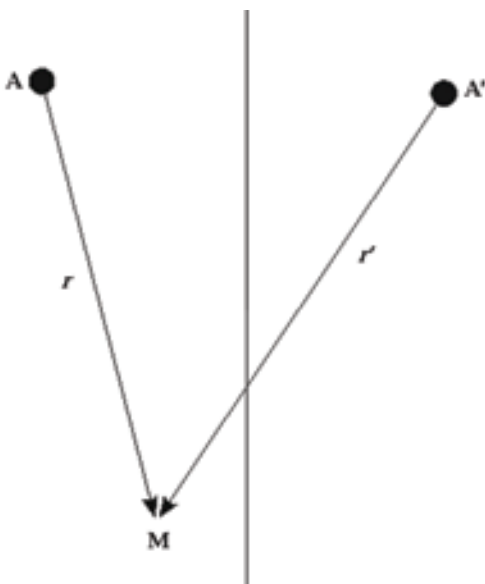


Рис. 3. Геометрия метода зеркальных отображений.

$$U(r) = \frac{\rho_1}{r} + \frac{\rho_2}{r'} K_{12}, \quad (5)$$

где K_{12} — коэффициент контрастности

$$\left(K_{12} = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \right); r = |AM| \text{ и } r' = |A'M| —$$

расстояния от действительного и мнимого источников до точки наблюдения; A, M — точки источника и наблюдения; A' — точка положения мнимого (зеркального) отображения. По измерянному профилю потенциала (аддитивную постоянную считаем равной нулю) можем подобрать коэффициент B в выражении

$$U(r) = \frac{A}{r} + \frac{B}{r'}, \quad (6)$$

где A , согласно формуле (5), величина известная. Заметим, что в случае расположения прибора на оси скважины (без так называемого "учета эксцентриситета"), для аксиально-симметричной среды, в цилиндрической системе координат наша задача определения у. э. с. пласта бесконечной мощности без проникновения будет аналогична рассмотренной, с той только разницей, что граница, разделяющая области, не плоскость, а цилиндр. Задача для модели "пласт + зона проникновения + нетронутая часть пласта" будет эквивалентна случаю плоскости с двумя границами раздела и также может быть решена. Принципиальное отличие применения принципа зеркальных изображений к решению обратных задач ЭК в аксиально-симметричной геометрии состоит в нетривиальности выбора неточечного "зеркального" источника и соответственно более сложном алгоритме расчета, нежели основанном на формуле (6), даже для двумерной модели пространства. Однако современные возможности широкодоступных вычислительных ресурсов делают такое отличие незначительным с точки зрения методики и подхода.

Также важно, что восстановление потенциала вдоль оси скважины возможно и при расположении обратного токового электрода на любом конечном расстоянии от описанной конструкции измерительных электродов. Расположение же обратного токового электрода на любом конечном расстоянии позволяет создать аппаратуру в жестком корпусе и соответственно использовать ее в горизонтально-наклонных скважинах.

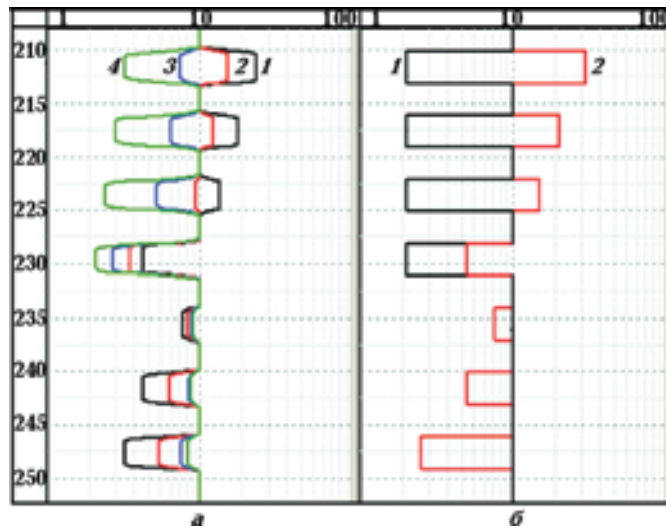


Рис. 4. Модель интервала скважины (у. э. с. скважины $1 \text{ Ом} \cdot \text{м}$): *а* — кривые зондов "псевдо-бокового" каротажа, синтезированные по данным, полученным в ходе решения прямой задачи для выбранной модели МЭК-М (1 — МЕК1; 2 — МЕК2; 3 — МЕК3; 4 — МЕК4); *б* — кривые у. э. с. пласта (1) и зоны проникновения (2).

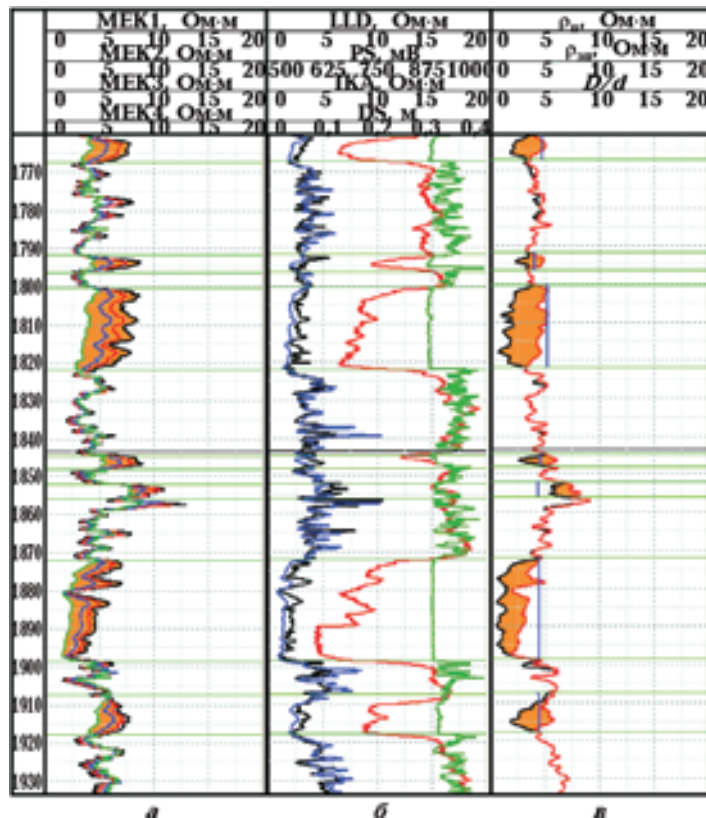


Рис. 5. Интервал скважины (Днепро-Донецкая впадина, Веселовское месторождение, у. э. с. скважины $0,3 \text{ Ом} \cdot \text{м}$): *а* — кривые зондов "псевдо-бокового" каротажа, синтезированные по данным 14-ти зондов МЭК-М; *б* — у. э. с. (LLD — бокового каротажа БК-3; ИКА — индукционного каротажа 6Ф1); PS — кривая потенциала самопроизвольной поляризации; DS — диаметр скважины; *в* — рассчитанные по данным МЭК-М у. э. с. пласта и зоны проникновения, D/d — рассчитанное по данным МЭК-М отношение диаметра зоны проникновения к номинальному диаметру скважины.

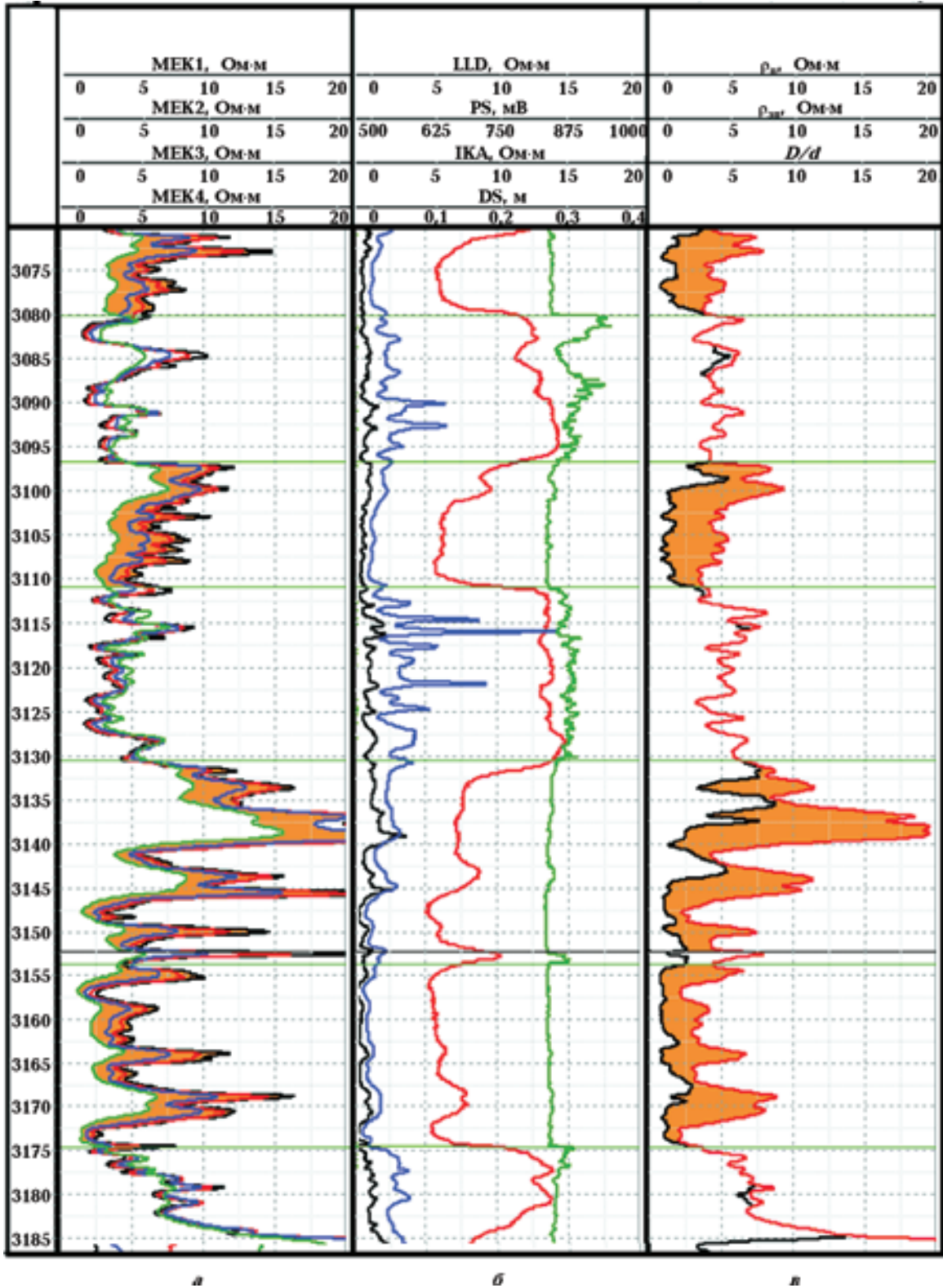


Рис. 6. Интервал скважины (Днепровско-Донецкая впадина, Яблуневское месторождение, у. э. с. скважины 0,3 Ом·м). Условные обозначения см. на рис. 5.

Результаты и анализ моделирования применения МЭК-М. Рассмотрим возможности МЭК-М. На рис. 4 представлен один из примеров "синтезированных" кривых псевдобокowego каротажа (основанный на расчете составляющей тока "стекающего строго в пласт") для пачки пластов с различными значениями $\rho_{\text{п}}$ (у. э. с. нетронутой части пласта), $\rho_{\text{зп}}$ (у. э. с. зоны проникновения), D/d (отношение диаметра зоны проникновения к номинальному диаметру скважины). Метод решения обратной задачи позволяет определить значения перечисленных параметров в каждом пласте с погрешностью не более 1 %.

На рис. 5, 6 представлены практические диаграммы для двух различных скважин Днепровско-Донецкой впадины. Значения $\rho_{\text{п}}$, $\rho_{\text{зп}}$ рассчитывались на всем интервале в поточечном режиме для модели "скважина + зона проникновения + нетронутой часть пласта". Очевидно, при правильном методе расчета в непроницаемых пластах вычисленные значения $\rho_{\text{п}}$, $\rho_{\text{зп}}$ должны быть близкими (в идеале совпадать, на практике различаются в пределах заданной погрешности). Степень совпадения $\rho_{\text{п}}$, $\rho_{\text{зп}}$ в таких пластах, как видно из приведенных диаграмм, оказалась достаточно высокой. Для набора мощных непроницаемых пластов были синтезированы диаграммы псевдобокowego каротажа. Значения $\rho_{\text{п}}$, $\rho_{\text{зп}}$, D/d , полученные описанным методом, сравнивались с аналогичными значениями, полученными из диаграмм БКЗ в мощных пластах по палеткам [Дахнов, 1972]. Максимальное различие на всем интервале по $\rho_{\text{п}}$ составило 14 %, а по $\rho_{\text{зп}}$ — 23 %.

К недостаткам МЭК-М в описанной конфигурации можно отнести ограничение по диапазону определения $\rho_{\text{п}}$ (для длинных зондов при $\rho_{\text{п}} / \rho_{\text{с}} > 300$, где $\rho_{\text{с}}$ — у. э. с. скважины, чувствительность измерения к значению $\rho_{\text{п}}$ практически отсутствует). В этом случае необходимо дополнить систему более длинными зондами.

Если при интерпретации диаграмм в проницаемом пласте использовать палетку БКЗ для непроницаемого пласта, значения $\rho_{\text{зп}}$, D/d вообще не определяются, т. е. результат может быть качественно неверным, особенно это проявляется при использовании вспомогательных, зачастую эмпирических, методов разделения проницаемых и не проницаемых коллекторов. В описанном методе расчет значений $\rho_{\text{п}}$, $\rho_{\text{зп}}$, D/d не зависит от выбора модели: на пластах без проникновения зна-

чения $\rho_{\text{п}}$ и $\rho_{\text{зп}}$ просто совпадают (см. рис. 4, 5), а для пластов-коллекторов — отличаются. Это означает еще и то, что необходимость в использовании методов каротажа, задача которых состоит лишь в расчленении разреза на плотные пласты и пласты с проникновением (микрокаротаж, каротаж спонтанной поляризации и т. п.), пропадает.

Таким образом, предложенная конфигурация (симметрия измерительных электродов относительно токового электрода А — электрод N одного зонда является электродом M другого) была выбрана из следующих соображений:

- симметричное расположение электродов позволяет без потери точности решать обратную задачу;
- обратный токовый электрод В может быть расположен на любом конечном расстоянии от схемы измерительных электродов, что позволяет изготовить зондовую часть в "жестком" (без "косы") варианте (и соответственно использовать ее в горизонтальных-наклонных скважинах);
- есть возможность расчета у. э. с. по измеренной второй разности потенциала;
- можно "синтезировать" диаграммы псевдобокowego каротажа различной глубинности для экспресс-выделения проницаемых пластов без привлечения других методов каротажа.

Теория метода МЭК-Ф. Вернемся к теории классического бокового каротажа (см. выше), но внесем в схему зонда БК-3 два конструктивно простых, с точки зрения изготовления, изменения:

- 1) разместим обратный электрод не на бесконечности, а на конечном расстоянии (в рассматриваемом случае 1 м);
- 2) боковые электроды заменим совокупностью электродов геометрии, идентичной геометрии центрального (в идеале такие электроды принято считать точечными, но реальные размеры будут соответствовать реальному размеру центрального электрода — 0,1 м).

На рис. 7 представлена геометрия данной аппаратуры и принципиальная электрическая схема. Равенство потенциалов одноименных электродов (В1, ..., В7) относительно обратного (А) обеспечивается соединением их с помощью шины малого сопротивления ($\approx 0,001$ Ом). Следует сразу заметить, что диаметр прибора, а значит, и диаметр шины ограничены минимально возможным диаметром скважины, что накладывает ограничение на частоту ге-

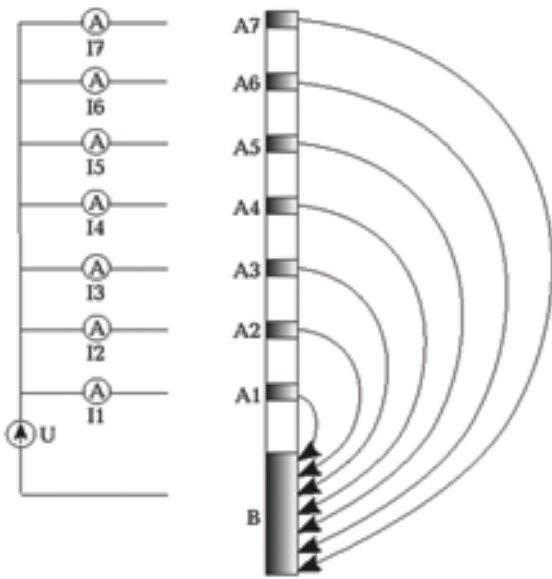


Рис. 7. Принципиальная и электрическая схема аппаратуры МЭК-Ф.

нератора, так как при использовании переменного тока возникает скин-эффект и эффективное сопротивление шины будет выше теоретического, рассчитанного по формуле $R = \rho^l / S$ (ρ — у. э. с. шины, R — сопротивление шины; l — ее длина, S — сечение). Будем измерять набор величин (в данном примере геометрии — семь):

$$\tilde{\rho}_i = K_i \frac{U}{I_i}, \quad i = 1, \dots, 7, \quad (7)$$

где I_i — сила тока “стекающего” в породу с каждого из семи “прямых” электродов; U — напряжение генератора, $U = \text{const}$; K_i — коэффициенты зондов (геометрические факторы), каждая из которых, в силу принципа не пересечения траекторий линий тока в пространстве, будет характеризовать у. э. с. зоны, удаленной на определенное расстояние от стенки скважины. Другими словами, каждый одноименный электрод, при такой схеме измерения, можно называть зондом бокового каротажа определенной глубинности, так как расположение рядом с ним электродов равного потенциала предопределяет, что ток “стекает” с него строго в пласт. Исключение составляют только два крайних электрода, поскольку у них только с одной стороны есть электрод равного потенциала. С точки зрения методики предложенного способа они выполняют скорее техническую функцию, но на основании выпол-

ненных расчетов их показания оказались крайне не полезны для эффективного решения обратной задачи.

Результаты и анализ моделирования МЭК-Ф. На рис. 8 представлены кривые для модели маломощного плотного пласта (у. э. с. пласта — $4,5 \text{ Ом} \cdot \text{м}$; у. э. с. вмещающих — $1 \text{ Ом} \cdot \text{м}$; у. э. с. скважины — $0,001 \text{ Ом} \cdot \text{м}$). Данная модель во многом уникальна, так как содержит объект мощностью 1 м, что намного меньше реального вертикального разрешения других электрических и индукционных методов [Андерсон, 2001]. Более того, соотношение $\rho_{\text{п}} / \rho_{\text{с}} = 4500$ в принципе недостижимо для БКЗ [Дахнов, 1972], методов ИК [Плюснин, 1968] или ВИКИЗ [Технология ..., 2000].

Наблюдаемые незначительные искажения КС от у. э. с. вмещающих пород на границах пластов исключаются простой операцией усреднения:

$$\tilde{\rho}'_1 = 0,5(\tilde{\rho}_1 + \tilde{\rho}_7), \quad \tilde{\rho}'_2 = 0,5(\tilde{\rho}_2 + \tilde{\rho}_6),$$

$$\tilde{\rho}'_3 = 0,5(\tilde{\rho}_3 + \tilde{\rho}_5), \quad \tilde{\rho}'_4 = \tilde{\rho}_4. \quad (8)$$

Кроме того, кривые становятся симметричными, что оказалось важным для интерпретаторов предприятий-заказчиков подобных методов. Так, на рис. 9 приведены результаты усреднения для кривых, изображенных на рис. 8.

На рис. 10 в качестве иллюстрации представлены кривые для модели пачки пластов с проникновением, разделенных плотными прослойками, у. э. с. скважины также было равно $0,001 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Как показали расчеты, данный метод имеет ограничение — у. э. с. породы надежно оп-

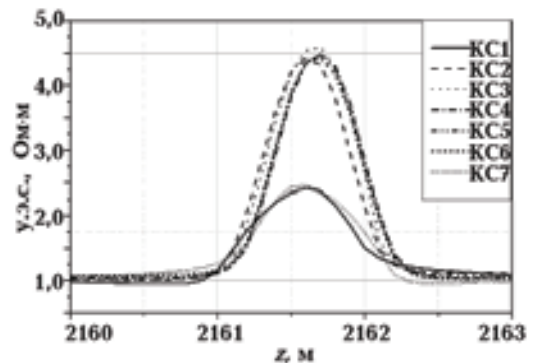


Рис. 8. Пример кривых МЭК-Ф напротив пласта мощностью 1 м. КС1—КС7 — кажущиеся сопротивления зондов, рассчитанные по формуле (7).

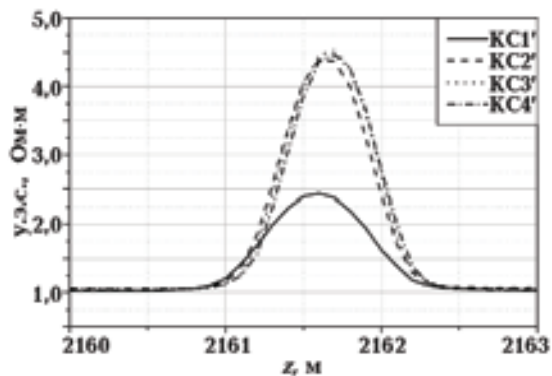


Рис. 9. Пример “симметризации” кривых МЭК-Ф напротив пласта мощностью 1 м. КС1’—КС4’ — кажущиеся сопротивления, рассчитанные по формулам (8).

ределяется при $\rho_{\text{п}} / \rho_{\text{с}} > 300$. В целом, как показало моделирование, в том числе соответствующее условиям Западной Сибири и Днепроовско-Донецкой впадины, для указанного диапазона МЭК-Ф позволяет эффективно расчленять разрез без применения дополнительных методов на плотные пласты и пласты с проникновением (аналогично МЭК-М), а также надежно определять геоэлектрические параметры околоскважинного пространства с высоким пространственным разрешением.

Следует заметить, что МЭК-М и МЭК-Ф имеют одну общую особенность: количество зондов аппаратуры ограничено только соотношением линейных размеров электродов и длиной зондовой части (т. е. в теоретически иде-

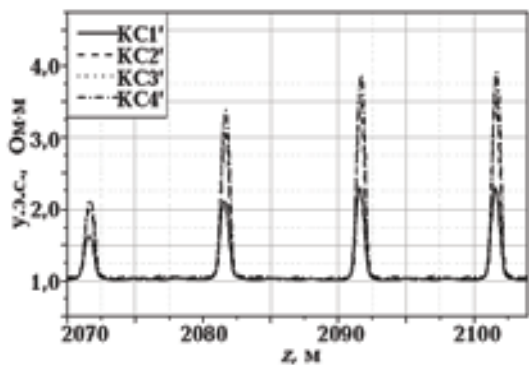


Рис. 10. Пример кривых МЭК-Ф напротив пачки проницаемых пластов мощность 1 м, разделенных плотными прослоями. КС1’—КС4’ — кажущиеся сопротивления, рассчитанные по формулам (8).

альном случае точечных электродов их число может быть равно бесконечности, что вообще-то позволяет восстанавливать радиальное распределение у. э. с. вдоль пласта с высокой дифференциацией). Однако, поскольку на практике до сих пор широко применяется 3-параметрическая модель пласта [Красножон, 2005], количество зондов в конкретных рассматриваемых примерах геометрии было выбрано, во-первых, из соображений оптимальной точности решения обратной задачи, а во-вторых, из соображений возможности размещения современной электроники в корпусе данной аппаратуры при заданном количестве зондов (с точки зрения электроники добавление еще одного зонда в случае МЭК-М означает добавление еще одного вольтметра, а в случае МЭК-Ф — еще одного амперметра). Большое количество зондов также позволяет определять параметры пластов более сложных моделей, чем “скважина + зона проникновения + нетронутая часть пласта”. Для круга задач, решаемых в настоящее время, целесообразно ограничиться семью неизвестными параметрами в каждом пласте [Миронцов, 2007], что превышает количество параметров, определяемых аппаратурой HRLA фирмы Schlumberger.

Выводы. Рассмотрено два типа аппаратуры электрического каротажа, исключаяющие влияние вмещающих пластов на измерение (принцип бокового каротажа) и надежно определяющие геоэлектрические параметры разреза для всего требуемого диапазона. Предложенные типы аппаратуры, с точки зрения конструкции, исключительно просты в реализации (количество зондов при этом ограничено исключительно геометрическими требованиями) и могут эксплуатироваться в горизонтальных скважинах (в отличие от комплекса БК + БКЗ + ИК). Определение геоэлектрических параметров разреза не требует привлечения дополнительных методов (микрочаротаж, микробоковой каротаж, метод ПС и т. п.).

Автор выражает глубокую признательность докт. физ.-мат. наук В.Н. Шуману и канд. техн. наук Р. С. Челокьяну за внимание к работе и полезное обсуждение перспективности изложенных принципов, а также специалистам ОАО “Опытно-конструкторское бюро геофизического приборостроения” (г. Киев), участвовавшим в конструкторской разработке и изготовлении аппаратуры МЭК-М и габаритного макета аппаратуры МЭК-Ф.

Список литературы

- Альпин Л. М. Дивергентный каротаж // Прикладная геофизика. — 1962. — Вып. 32. — С. 192—212.
- Дахнов В. Н. Интерпретация результатов геофизических исследований скважин. — Москва: Недра, 1972. — 368 с.
- Ильинский В. М. Боковой каротаж. — Москва: Недра, 1971. — 144 с.
- Колосов А. Л. Решение задач электрметрии скважин на ЭВМ. — Киев: Наук. думка, 1977. — 148 с.
- Красножон М. Д. Компьютеризированная технология интерпретации материалов электрического каротажа // НТВ Каротажник. — 2005. — № 130-131. — С. 27—52.
- Миронцов Н. Л. Влияние изменения расстояния между электродами на характеристики прибора электрического фокусированного каротажа // Геофиз. журн. — 2005. — 27, № 2. — С. 315—317.
- Миронцов М. Л. До розрахунку коефіцієнтів зондів електричного каротажу // Доп. НАН України. — 2003. — № 11. — С. 120—122.
- Миронцов М. Л. Метод розв'язання прямої та зворотної задачі електричного каротажу // Доп. НАН України. — 2007. — № 2. — С. 128—131.
- Миронцов М. Л. Метод розв'язання прямої та оберненої задачі індукційного каротажу // Доп. НАН України. — 2004. — № 9. — С. 130—133.
- Миронцов Н. Л. Решение прямых и обратных задач электрического и индукционного каротажа методом интегральных (полных) токов // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики. — Київ: Вид-во Всеукр. асоціації геофізиків, 2009а. — С. 340—352.
- Миронцов Н. Л. Способ решения 2D обратной задачи индукционного каротажа // Геофиз. журн. — 2009б. — 31, № 4. — С. 196—203.
- Плюснин М. И. Индукционный каротаж. — Москва: Недра, 1968. — 140 с.
- Тамм И. Е. Основы электричества. — Москва: Наука, 1976. — 616 с.
- Технология исследования нефтегазовых скважин на основе ВИКИЗ. Методическое руководство / Под. ред. М. И. Эпова, Ю. Н. Антонова. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. — 121 с.
- Эпов М. И., Глинских В. Н., Ульянов В. Н. Оценка характеристик пространственного разрешения систем индукционного и высокочастотного каротажа в терригенных разрезах западной Сибири // НТВ Каротажник. — 2001. — № 81. — С. 19—57.
- Anderson B. I. Modeling and inversion methods for the interpretation of resistivity logging tool response. — Paris: Schlumberge print, 2001. — 377 p.