



УДК 550.8

© 2010

Н. Л. Миронцов

Новый принцип многозондового электрического каротажа

(Представлено академиком НАН Украины В. И. Старостенко)

Запропоновано новий принцип багатозондового електричного каротажу, що дозволяє створити апаратуру, яка містить будь-яку кількість зондів різної глибини дослідження та високого вертикального розділення (що відповідає роздільній здатності апаратури, заснованої на принципі бічного каротажу), але без використання часового, частотного або просторового розділення роботи зондів. Дана апаратура може експлуатуватись як у вертикальних, так і в горизонтальних свердловинах, а також має істотно меншу довжину (4 м у розглянутій геометрії) на відміну від апаратури бічного каротажного зондування (понад 20 м).

Созданная в 20 в. и ставшая на многие десятилетия классической [1] аппаратура многозондового бокового каротажного зондирования (БКЗ) все более перестает удовлетворять требованиям геофизического исследования скважин (ГИС), так как она, во-первых, не может эксплуатироваться в горизонтально-наклонных скважинах (число которых растет), а конструктивно зонды располагаются на гибкой “косе” длиной более 20 м, и эффективно применяются для исследования геоэлектрических параметров маломощных пластов-коллекторов (длина зондов БКЗ составляет, м: 0,45; 1,05; 2,25; 4,25; 6,25; 8,5); а, во-вторых, эффект “экранирования” пластов скважиной, заполненной проводящим раствором (эквивалентная схема среды представляет собой параллельное соединение резисторов), существенно влияет на определение удельного электрического сопротивления (УЭС) высокоомных пород [2]. Однако задача исследования радиального распределения УЭС с высоким вертикальным разрешением (в цилиндрической системе координат) как в вертикальных, так и в горизонтально-наклонных скважинах приобретает все большую актуальность в связи с необходимостью интенсификации добычи и проведения ГИС в сложных геофизических условиях [2].

В настоящем сообщении предложен принцип многозондового электрического каротажа с “фокусировкой” тока (МЭК-Ф), позволяющий детально исследовать радиальное распределение УЭС с высоким вертикальным разрешением и создать конструктивно простую аппаратуру.

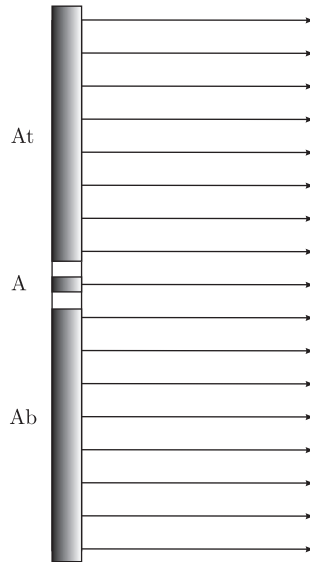


Рис. 1. Геометрия зонда БК-3: А — центральный электрод; At, Ab — экранирующие электроды

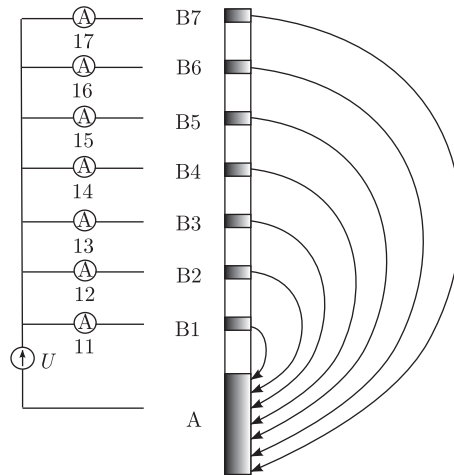


Рис. 2. Принципиальная геометрическая и электрическая схема аппаратуры МЭК-Ф

Идея метода основана на фундаментальном физическом принципе непересечения линий тока в среде и может быть реализована в виде совокупности “прямых” токовых электродов, обладающих равным потенциалом относительно “обратного” токового электрода, приближенного на конечное расстояние. Таким образом, траектория тока, “стекающего” с каждого “прямого” электрода, ограничена траекториями токов, “стекающих” с соседних “прямых” электродов, но в отличие от ставшей классической схемы трехэлектродного бокового каротажа (БК) [3], в которой “обратный” электрод А условно находится на бесконечности (рис. 1), проникает в пласт на определенную глубину (рис. 2). Тем самым совокупность измерений токов, “стекающих” с “прямых” электродов, позволяет детально измерять радиальное распределение УЭС пластов с существенно более высоким вертикальным разрешением, чем БКЗ; избежать эффектов “экранирования”, так как эквивалентная схема среды для каждого “прямого” электрода будет представлять собой последовательное соединение в отличие

от БКЗ. Кроме того, размещение “обратного” электрода на любом конечном расстоянии (в рассматриваемой ниже конструкции оно составляет 1 м) позволяет изготовление такой аппаратуры в жестком корпусе, а не на гибкой “косе”, и соответственно позволяет эксплуатацию в горизонтально-наклонных скважинах.

В рассматриваемой геометрии длина “обратного” электрода A равна 1 м, длина “прямых” электродов $B_1, \dots, B_7 = 0,1$ м, расстояние между всеми электродами — 0,4 м. Следует также отметить, что для крайних “прямых” электродов принцип “фокусировки” тока выполняется не строго, так как вертикальная составляющая вектора плотности тока не будет равна нулю с одной из сторон каждого крайнего электрода, т. е. они выполняют техническую функцию, обеспечивая работу внутренних “прямых” электродов в режиме “фокусировки”.

Результатом каротажа будут (для рассмотренной геометрии) семь величин:

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

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) [4, 5].

Следует отметить ограничение на частоту переменного тока, питающего зонд, так как низкое сопротивление шины, соединяющей “прямые” электроды и обеспечивающей равенство их потенциала (в силу известного соотношения между сопротивлением R проводника и УЭС ρ , длины l и сечения S : $R = \rho l/S$) подразумевает увеличение ее диаметра для уменьшения сопротивления, что, в свою очередь, приводит к увеличению влияния скин-эффекта (увеличению сопротивления, так как ток будет концентрироваться у стенок шины [6], и “эффективное” сечение шины будет уменьшаться). Однако, как показали расчеты, эта проблема не ограничивает эффективность решения задач ГИС в условиях Днепровско-Донецкой впадины или Западной Сибири. Заметим, что конструктивно увеличение числа “прямых” электродов не усложняет конструкцию аппаратуры в целом, и их количество ограничено исключительно их линейными размерами и общей требуемой длиной аппаратуры.

На основании изложенного можно сделать вывод, что предложенный подход позволяет создать аппаратуру многозондового БК любого количества зондов с различной глубиной исследования, обладающих высоким вертикальным разрешением (соответствующим разрешению аппаратуры, основанной на принципе БК), но без использования временного, частотного или пространственного разделения работы зондов.

Автор выражает глубокую признательность за высказанные замечания д-ру физ.-мат. наук В. Н. Шуману и канд. техн. наук Р. С. Челокьяну за полезное обсуждение перспективности изложенного принципа, а также специалистам ОАО “Опытно-конструкторское бюро геофизического приборостроения” (Киев), участвовавшим в конструктивной разработке габаритного макета аппаратуры МЭК-Ф.

1. Дажнов В. Н. Интерпретация результатов геофизических исследований скважин. — Москва: Недра, 1972. — 368 с.
2. Anderson B. I. Modeling and inversion methods for the interpretation of resistivity logging tool response. — Dundee: Delft Univ. Press, 2001. — 377 p.
3. Ильинский В. М. Боковой каротаж. — Москва: Недра, 1971. — 144 с.
4. Колосов А. Л. Решение задач электрометрии скважин на ЭВМ. — Киев: Наук. думка, 1977. — 148 с.
5. Миронцов М. Л. До розрахунку коефіцієнтів зондів електричного каротажу // Доп. НАН України. — 2003. — № 11. — С. 120–122.

M. L. Myrontsov

A new principle of multiprobe electric logging

A new principle of multiprobe electric logging allowing one to fabricate equipments containing any number of probes with different logging depths and possessing a high vertical resolution (corresponding to that of an equipment based on the lateral logging) but without using any time, frequency, or space division of probes' operation. The given equipment can be applied in both vertical and horizontally inclined holes, and it has also a significantly smaller length (4 m in the considered geometry) in contrast to the lateral logging apparatus exceeding 20 m.