

УДК 550.832.7

Р. А. Нигматзянов, О. М. Снежко, В. А. Пантиухин
ООО «Нефтегазгеофизика»

МНОГОЗОНДОВЫЕ ПРИБОРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КАРОТАЖА. ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ. ПУТИ РАЗВИТИЯ

Рассмотрены этапы разработки и внедрения приборов многозондового электрического каротажа. Приведены примеры выполненных исследований бурящихся скважин автономной аппаратурой. Рассмотрены дальнейшие пути развития аппаратуры в составе автономных и кабельно-автономных комплексов.

Ключевые слова: скважина, электрометрия, каротаж, многозондовая аппаратура, автономные комплексы, интерпретация, эксплуатация, перспективы.

В начале первого десятилетия 21-го века парк приборов электрического каротажа производства ООО «Нефтегазгеофизика» включал в себя приборы электрического бокового каротажа БК + БКЗ и приборы двойного электрического каротажа 2БК-3/5 и 2БК-7/9 в различном термобаростойком исполнении.

Работа в сложных геолого-технических условиях, в условиях высокой контрастности (отношение удельного электрического сопротивления (УЭС) пород к УЭС промывочной жидкости (ПЖ)) зачастую приводила к искажению полученного материала и невозможности точного определения УЭС пласта по результатам использования приборов одиночного и двойного бокового каротажа.

При работе в составе длинных и тяжелых сборок приборов несло дополнительную нагрузку гибкое зондовое устройство (БКЗ), что приводило к его быстрому износу и потенциально большему количеству аварийных ситуаций при работе с аппаратурой.

В 2013 г., учитывая возрастающий спрос на российском рынке геофизических услуг, ООО «Нефтегазгеофизика» приступило к разработке собственного варианта многозондового прибора электрического каротажа.

На основе результатов моделирования и опыта эксплуатации предыдущих приборов двойного бокового каротажа в основу метода была положена компоновка из пяти зондов типа БК-5 и зонда БК-3, дополненная внутриприборной регистрацией сигнала самопроизвольной поляризации (ПС).

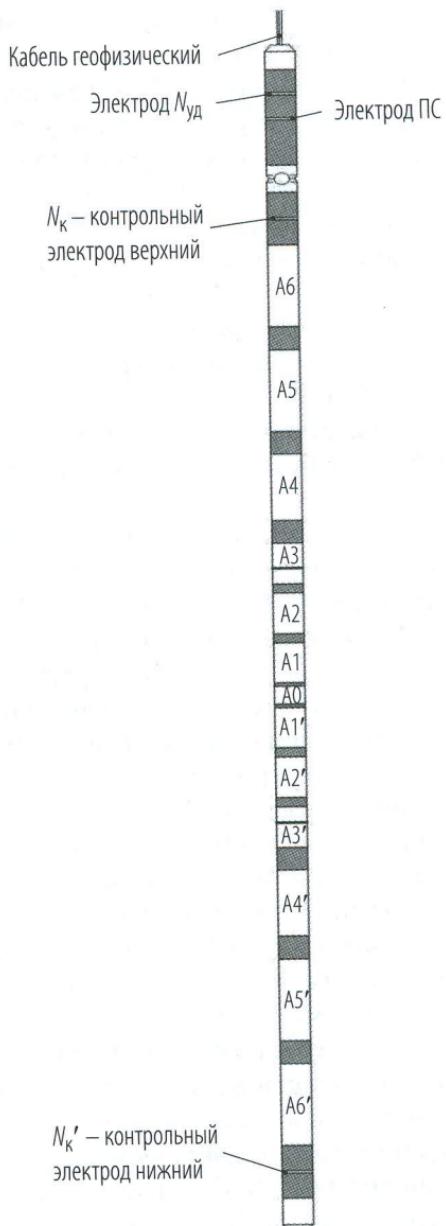


Рис. 1. Схема зондового устройства скважинного прибора ЭКБР-Т-76-120-80

После опытного опробования экспериментального образца аппаратуры ЭКВР диаметром 76 мм на геофизическом кабеле силами сервисной службы ООО «Нефтегазгеофизика» на месторождениях Беларуси и Западной Сибири, а также после получения качественных геофизических материалов было организовано серийное производство кабельного прибора ЭКВР диаметром 76 мм – ЭКВР-Т-76 (рис. 1). Этот прибор сейчас активно и успешно используется сервисными геофизическими компаниями на месторождениях Западной и Восточной Сибири.

В 2014 г. в ООО «Нефтегазгеофизика» принято решение о разработке автономного варианта прибора электрического многозондового каротажа ЭКВР диаметром 90 мм с собственным автономным источником питания, рассчитанным на непрерывную работу не менее 24 часов, с возможностью работы в сборках с другими автономными приборами серии «Каскад-А».

На основе результатов моделирования зондовой установки и оценки условий применимости был разработан автономный прибор электрического многозондового бокового каротажа ЭКВР-А-90. Зондовая установка прибора состоит из пяти разноглубинных зондов типа БК-5 и одного зонда типа БК-3. Также регистрируется сигнал самопроизвольной поляризации. Результатом выполненной разработки стал серийно выпускаемый автономный прибор многозондового бокового каротажа ЭКВР-А-90 (рис. 2).

Прибор показал хорошие эксплуатационные характеристики и высокую степень надежности при работе в сложных условиях. К выявленным особенностям эксплуатации необходимо отнести необходимость соблюдения требований к отсутствию масляных загрязнений на электродах зондовой установки. Также важно своевременно обслуживать стыковочные межблочные узлы аппаратуры в соответствии с требованиями технической документации для обеспечения хорошего электрического контакта соединяемых деталей и сохранения эквипотенциальности поверхности зондовой установки.

Учитывая накопленный опыт эксплуатации, можно уверенно заявить, что при соблюдении требований руководства по эксплуатации прибора автономная аппаратура ЭКВР-А надежно работает на многих месторождениях в суровых климатических и сложных геолого-технических условиях.

По результатам совместной работы с представителями сервисных компаний и с учетом их пожеланий были разработаны стенды по настройке и проверке электронных узлов прибора. Это привело к сокращению времени на настройку и ремонт аппаратуры и сокращению эксплуатационных издержек.

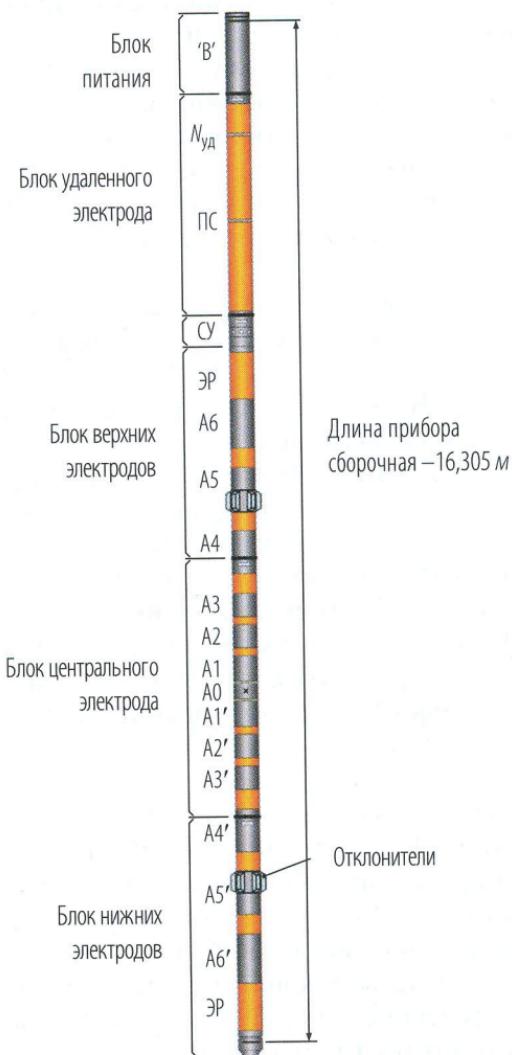


Рис. 2. Общий вид автономного прибора ЭКВР-А-90

Прибор работает под управлением программного обеспечения (ПО) ServiseMS, которое обеспечивает пользователя всеми необходимыми инструментами для настройки, калибровки и эксплуатации прибора.

Обработка и интерпретация результатов каротажа обеспечивается пакетами прикладного ПО LogPWin [2] и LogWin-ЭК [4, 6].

Ниже приведены результаты опробования приборов ЭКВР-А.

Данные БК наиболее эффективны при исследовании высокоомных разрезов, вскрытых скважинами с высокоминерализованными промывочными жидкостями (ВПЖ). Но часто встречаются условия каротажа, при которых даже в относительно низкоомных разрезах материалы БК более информативны, чем данные ЭМК (ИК, ВИКИЗ, ВЭМКЗ). Примером таких условий является каротаж в скважинах с ВПЖ, ствол которых осложнен значительным количеством микрокаверн.

Рассмотрим пример каротажа автономными приборами ЭКВР-90А и ВЭМКЗ в горизонтальной скважине № 1 с номинальным диаметром (d_n), равным 146 мм, заполненной ВПЖ ($\rho_c = 0,045 \text{ Ом} \cdot \text{м}$). Данные зондов ЭКВР-А-90 и ВЭМКЗ представлены в виде кривых КС, исправленных за влияние скважины. Зенитный угол (α) в рассматриваемом интервале находится в пределах 90–91 градуса. На кривых КС зондов ВЭМКЗ наблюдаются так называемые «синусоидальные» искажения. Подобные искажения характерны и для зондов ИК. Причиной этих искажений является то, что ствол скважины осложнен микрокавернами, которые находятся на одинаковом расстоянии друг от друга (около 1,6 м). Диаметр микрокаверн больше d_n на 4–8 мм, и этого достаточно, чтобы в скважине с ВПЖ их границы отбивались экстремумами на кривых КС зондов ВЭМКЗ. Наличие таких микрокаверн связано со спецификой бурения наклонных и горизонтальных скважин. В работе [9] подробно рассмотрена причина возникновения подобных циклических неровностей ствола скважины.

Искажения данных ВЭМКЗ настолько значительны, что использование их для определения электрических параметров пластов весьма проблематично. При этом кривые КС зондов БК прибора ЭКВР-А-90 не имеют таких искажений, что позволяет по их данным уверенно выделить пласти с зоной понижающего проникновения и определить их электрические параметры: УЭС пласта (RT), промытой зоны (RX0) и относительный диаметр зоны проникновения (DI/d) (рис. 3).

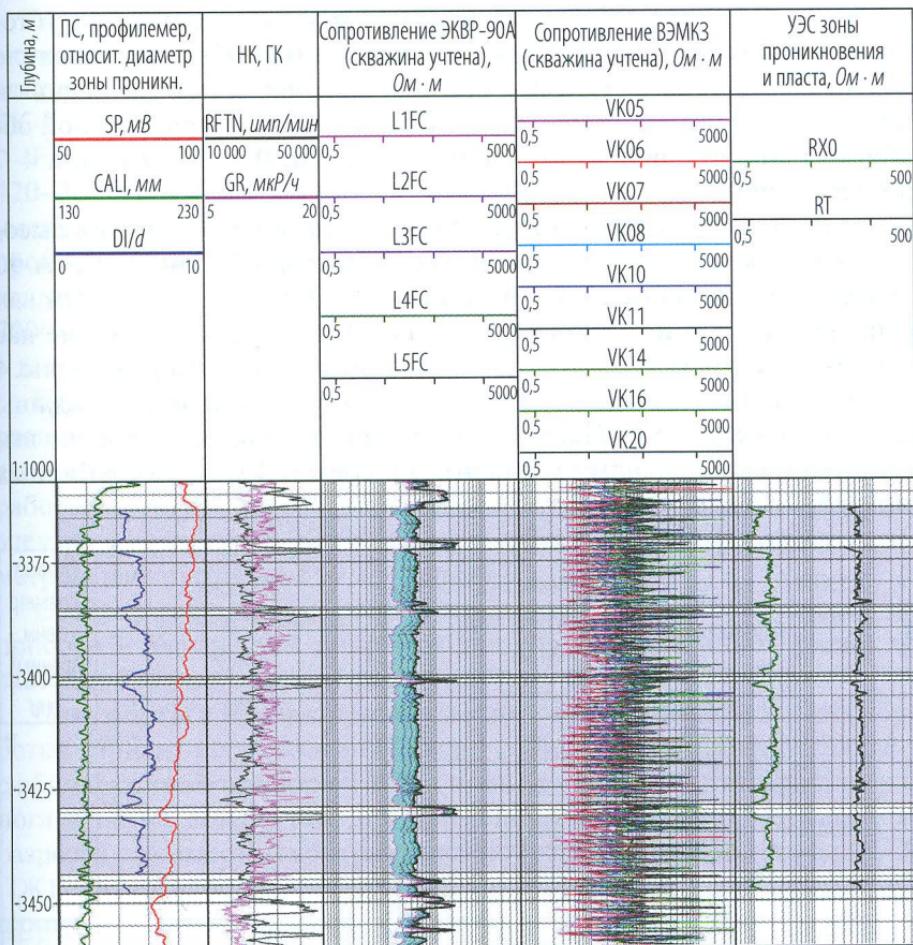


Рис. 3. Кривые КС, зарегистрированные зондами приборов ЭКВР-90А и ВЭМКЗ в горизонтальной скважине № 1, и результаты определения электрических параметров пластов-коллекторов по данным ЭКВР-90А ($d_h = 146$ мм; $\rho_c = 0,045$ Ом · м; $\alpha = 90\text{--}91^\circ$)

Рассмотрим результаты обработки данных ЭКВР-90, полученные в пластах песчаников, залегающих в интервале 3363–3448 м. Здесь проницаемые интервалы разделены плотными прослойками песчаников, имеющих наиболее высокое значение УЭС (90–250 Ом · м). Проницаемые интервалы выделяются по радиальному градиенту на кривых КС зондов БК.

Поскольку значения КС зондов БК не имеют тех искажений, которые отмечаются в данной скважине у зондов ВЭМКЗ, это позволило уверенно выделить пласты с зоной понижающего проникновения и определить их значения RT, RX0 и DI/d. По данным поточечной обработки они оказались равными $39\text{--}71 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, $0,9\text{--}2,5 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ и $4\text{--}7$ соответственно.

Следующим примером являются результаты исследования высокомных пластов-коллекторов, проведенных прибором ЭКВР-А-90 в наклонной скважине № 2. Значение УЭС ВПЖ равно $0,06 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, номинальный диаметр скважины равен 216 мм . Интересующие нас пласты-коллекторы находятся в четырех интервалах, которые на рис. 4 выделены синим цветом, а в их пределах угол наклона скважины имеет значения $60\text{--}62^\circ$. Пласти с зоной проникновения уверенно выделяются по радиальному градиенту на кривых КС разноглубинных зондов БК-5 (рис. 4).

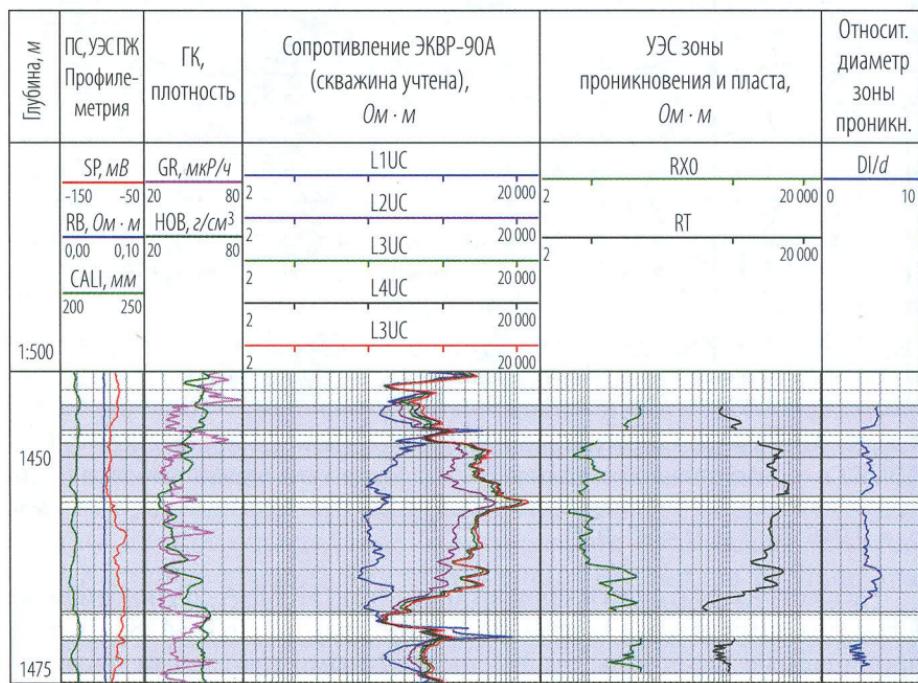


Рис. 4. Результаты выделения пластов с зоной проникновения и определения их электрических параметров по данным ЭКВР-А-90 в наклонной скважине № 2 ($d_h = 216 \text{ мм}$; $\rho_c = 0,06 \text{ Ом} \cdot \text{м}$; $\alpha = 60\text{--}62^\circ$)

Максимальное влияние зоны понижающего проникновения отмечается на показаниях двух коротких зондов БК. Определение электрических параметров пластов проведено по данным пяти зондов БК-5 в поточечном режиме обработки.

Рассчитанные значения RT , RX_0 , DI/d находятся в пределах $420\text{--}7200 \text{ Ом} \cdot \text{м}$; $5\text{--}54 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ и $3\text{--}6$ соответственно. При этом уменьшение значения КС длинного зонда БК-5 из-за влияния зоны проникновения достигает 30%. Значения отношения УЭС пластов-коллекторов к УЭС ПЖ весьма значительны и находятся в пределах $7000\text{--}120\,000$, что указывает на эффективность прибора ЭКВР-А-90 в высокоменных разрезах в скважинах с ВПЖ.

Бурение разведочных скважин большого диаметра потребовало расширить диапазон применения аппаратуры до диаметра исследуемых скважин 508 мм. В результате проведенных исследовательских работ аппаратуру ЭКВР оснастили сменными блоками центрального электрода диаметром 120 и 150 мм и сменными центраторами с диаметром раскрытия до 550 мм (рис. 5).

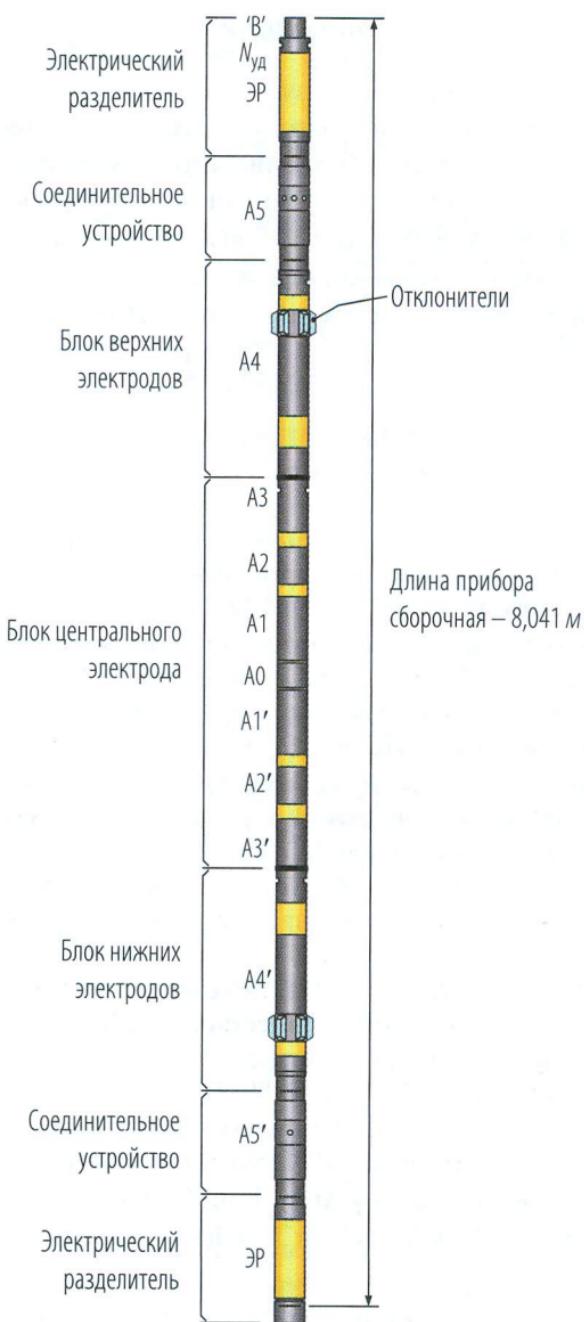
Соответственно, был полностью переработан набор палеток для прибора и рассчитаны поправки для обработки данных зондов для скважин большого диаметра.

Для работы в аппаратурном комплексе «Каскад-А3» также разработан вариант использования укороченной версии прибора ЭКВР-А с общей длиной прибора 9 м и зондовой установкой из четырех разноглубинных зондов БК для применения в условиях терригенных разрезов с невысокой контрастностью (отношение УЭС пород к УЭС ПЖ). Такая версия прибора существенно сокращает суммарную длину используемых сборок (рис. 6).

Единые стандарты телеметрии и унифицированные электронные устройства прибора ЭКВР, использование адаптивного программного обеспечения прибора, зондовая установка для работы в скважинах различных диаметров – все это позволяет серийно выпускать прибор, который будет одинаково эффективно работать как в автономном, так и в кабельном варианте использования. Прибор одинаково успешно может применяться в связках аппаратуры и как одиночный геофизический модуль, что позволит эксплуатирующим организациям наиболее гибко реагировать на любые требования по проведению геофизических работ и сократить производственные издержки.



Рис. 5. Общий вид прибора автономного ЭКБР-А-90 со сменным блоком ЦЭ и установленными центраторами



с. 6. Вариант прибора ЭКВР под терригенные разрезы

Заключение

Получены положительные результаты исследований скважин в сложных геолого-технических условиях, таких как высокоминерализованная ПЖ, кавернозный ствол скважин и высокие значения УЭС пород. Показано, что при определении электрических параметров пластов в относительно низкоомных разрезах, когда ствол скважины заполнен ВПЖ и осложнен микрокавернами, данные ЭКВР-А могут быть более эффективны, чем данные ВЭМКЗ и ИК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Открытая презентация компании Schlumberger «Laterolog Tools & Measurements: Environmental Effects and Tool Data Processing». Isabelle Dubourg, SRPC. December 2003.
2. Пантиюхин В. А., Диченко В. Г., Нигматзянов Р. А. Многозондовый прибор электрического каротажа высокого разрешения ЭК-ВР // НТВ «Каротажник». Тверь: Изд. АИС. 2016. Вып. 9 (267). С. 109–118.
3. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2005612569, 2005. Авторы: Лобода Д. Р., Велижанин В. А., Власенко П. И., Волнухина А. А., Меженская Т. Е., Павлова Л. И., Пантиюхин В. А., Пивоварова Н. Е., Рудяк Б. В., Смирнов Н. А., Снежко О. М., Шеин Ю. Л.
4. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2005610807, 2005. Авторы: Шеин Ю. Л., Горбачев В. К., Ёлкина О. Е., Комлев Н. Ю., Косорукова Т. А., Павлова Л. И., Снежко О. М.
5. Хаматдинов Р. Т., Козяр В. Ф. и др. Техническая инструкция по проведению геофизических исследований и работ на кабеле в нефтяных и газовых скважинах. М., 2001.
6. Шеин Ю. Л., Павлова Л. И., Рудяк Б. В., Снежко О. М. Определение геоэлектрических характеристик разреза при совместной обработке данных разнотипных зондов электрического и электромагнитного каротажа // НТВ «Каротажник». Тверь: Изд. АИС. 2009. Вып. 5 (182). С. 89–100.
7. Barbara Ina Anderson. Modeling and Inversion Methods for the Interpretation of Resistivity Logging Tool Response // DUP Science. October 2001.
8. HRLA High-Resolution Laterolog Array Tool. Schlumberger.
9. Pastusek P., Brackin V. A Model for Borehole Oscillation. SPE 84448. 5–8, October, 2003.

Рецензент канд. техн. наук А. В. Шумилов