

Информационные сообщения

УДК 550.832.582

*С. С. Сошин, Р. Т. Хаматдинов,
Е. М. Митюшин, А. В. Малинин*
ООО “Нефтегазгеофизика”

СОСТОЯНИЕ И РАЗВИТИЕ ЯДЕРНО-МАГНИТНОГО КАРОТАЖА СИЛЬНОГО ПОЛЯ В ООО “НЕФТЕГАЗГЕОФИЗИКА”

Рассмотрены вопросы применения российских прижимных и автономных приборов ядерно-магнитного каротажа искусственного поля.

Ключевые слова: скважина, геофизика, приборостроение, ядерно-магнитный каротаж.

В основе отечественной технологии ядерно-магнитного каротажа (ЯМТК) лежит защищенный патентами [2, 4] способ регистрации ядерно-магнитного резонанса (ЯМР) в скважине. Технология ЯМТК предназначена для центрированных приборов, и область ее применения ограничена скважинами диаметром примерно до 260 мм.

Для скважин большего диаметра в ООО “Нефтегазгеофизика” разработана технология прижимных приборов ЯМТК-П, в которых зондовая установка имеет несимметричную конфигурацию магнитных полей, что позволяет ограничить область исследования относительно узким сектором.

Кроме ООО “Нефтегазгеофизика”, прижимную аппаратуру на рынке геофизических услуг предлагают фирмы “Халлибартон”, “Шлюмберже” и “Бейкер-Хьюз”. В основе технологии ЯМТК-П лежит оригинальный способ формирования зоны исследования, основанный на комбинировании радиочастотных мультиполей. Способ и устройство защищены российским патентом [3].

Номенклатура приборов ЯМК, разработанных в ООО “Нефтегаз-геофизика”, пополнилась новым прибором автономного каротажа – ЯМТК-А.

Таблица

Характеристики приборов ЯМК

Характеристики приборов	ЯМТК-П	ЯМТК-А
Тип прибора	Прижимной	Автономный
Максимальная температура, °С	120	100
Максимальное давление, МПа	80	80
Максимальный диаметр, мм: без отклонителей с отклонителями	120 –	120 134
Длина прибора, м	7,2	11,0
Масса прибора в собранном виде, кг	220	425
Время непрерывной работы (при максимальной температуре), ч	10	48 (деж. режим) 12 (режим измерений)
Постоянное магнитное поле, Гс	164	141
Радиочастотное поле, Гс	1,2	1,2
Частота, кГц	≈700	≈600
Градиент в зоне исследования, Гс/см	20	20
Минимальное время раздвижки, T_E , мс	0,7	0,8
Количество эх	До 1000	До 1000
Скорость каротажа, м/ч	100	100
Диапазон измерения амплитуды сигнала, %	0÷100	0÷100
Погрешность измерения пористости (3 накопления), %	4 (6 накоплений)	1
Диапазон измерения времени поперечной релаксации, T_2 , мс	1÷3000	1÷3000
Вертикальное разрешение, мм	620	620
Диаметр зоны исследования, мм	Глубинность 50 мм	280
Толщина зоны исследования, мм	0,5÷1	0,5÷1
Соппротивление бурового раствора, Ом·м	> 0,02	> 0,07

Приборы этого типа позволяют выполнять ЯМК без использования геофизического кабеля. Приборы снабжены аккумуляторным источником питания, обеспечивающим непрерывную работу аппаратуры до двенадцати часов. Запись регистрируемых данных осуществляется в энергонезависимую память прибора, привязка данных по глубине осуществляется с помощью часов прибора, синхронизированных с наземным считывающим оборудованием. Основные характеристики приборов представлены в таблице.

Исследования скважинными приборами ЯМТК-П и ЯМТК-А выполнены в осадочном чехле и фундаменте Русской платформы, Тимано-Печорской и Западно-Сибирской плит. В Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции России выполнены исследования в разрезах верхнего (сеноман) и нижнего (неоком) мела, юры и палеозоя. Исследованные ЯМК разрезы включали осадочные, магматические и метаморфические породы. Продуктивные комплексы были в основном представлены терригенными (кварцевые и аркозовые песчаники) и карбонатными породами. Глубины интервалов исследования скважин находились в диапазоне 500–3000 м, максимальная температура составляла 120 °С, давление – 75 МПа.

Технология ЯМТК-П

Цикл разработки прижимной аппаратуры был максимально сокращен за счет применения современных методов трехмерного моделирования радиочастотных полей. В результате прототип прибора, пригодный к работам в скважинах, был создан менее чем через год после постановки технического задания. Ввод прижимной аппаратуры в эксплуатацию привел к расширению объема сервисных работ по ЯМК в ООО “Нефтегазгеофизика” более чем на 10%.

В процессе работы над прижимной аппаратурой были окончательно сформулированы основные принципы построения зондовых установок приборов ЯМК. Как показали проведенные исследования, главным условием успешного функционирования зондовых установок является обеспечение максимальной магнитной связи между радиочастотной катушкой и зоной исследования, следствием чего является максимизация отношения “сигнал-шум” прибора. Для анализа использовалась процедура разложения полей по мультиполям [1] с учетом плоскопараллельной симметрии рассматриваемой системы.

Из-за связи элементов мультипольного разложения с источниками поля такой подход позволяет без особых сложностей перейти к реализации необходимой конфигурации последних. Для оценки величины связи между катушкой и зоной исследования целесообразно исходить из энергетических соображений, используя отношение энергии магнитного поля (E_i) в зоне исследования к суммарной энергии (E_Σ) поля системы:

$$\psi = \frac{E_i}{E_\Sigma}. \quad (1)$$

Для мультиполя n -го порядка величина ψ будет иметь вид

$$\psi_n = \left(\frac{R}{r_i}\right)^{(2n-1)} \left(\frac{\delta r}{r_i}\right) (2n-1), \quad (2)$$

где R – радиус области, включающей источники поля; r_i – радиус зоны исследования; Δr – толщина зоны исследования; n – порядок мультиполя.

Чтобы оценить вклады в связь мультиполей различных порядков, можно рассмотреть отношение величин ψ для мультиполей соседних порядков:

$$\frac{\psi_{n+1}}{\psi_n} = \left(\frac{R}{r_i}\right)^2 \frac{2n+1}{2n-1}. \quad (3)$$

Из формулы (3) видно, что чем больше порядок мультиполя (для R и r_i , имеющих место в скважинных условиях), тем меньшую связь между источником поля и зоной исследования он обеспечивает. Таким образом, при разработке аппаратуры ЯМК необходимо стремиться к исключению из радиочастотного поля мультипольных компонент высшего порядка. В технологии центрированных приборов ЯМТК это достигается симметричным расположением элементов зондовой установки и выбором определенного угла раскрытия экранов и обмоток катушки [2]. В прижимной технологии такой путь неприемлем, так как требуемое поле должно быть несимметричным. В этом случае была рассчитана конфигурация источников тока, которая в совокупности с реактивными элементами зондовой установки обеспечивала только две компоненты поля: дипольную и квадрупольную,

комбинация которых дала необходимое направленное распределение радиочастотного поля [3].

Технология ЯМТК-А

К настоящему времени в ООО “Нефтегазгеофизика” запущена в эксплуатацию автономная аппаратура ЯМК. Основным препятствием в реализации автономных технологий ЯМК является высокая энергоемкость метода. Это связано с тем, что возбуждение ядер водорода достигается применением к исследуемой породе радиочастотного магнитного поля, которое попутно возбуждает в окружающей зондовую установку среде вихревые токи, интенсивно рассеивающие энергию. Как показали исследования при работе в высокопроводящих буровых растворах, непрерывное потребление электроэнергии приборами ЯМК может достигать нескольких сотен ватт. Для решения этой проблемы в ООО “Нефтегазгеофизика” были разработаны эффективные источники питания, представляющие собой комбинацию батареи аккумуляторов с мощным преобразователем напряжения, обладающим высоким КПД в широком диапазоне рабочих температур. Такая разработка позволила реализовать автономную аппаратуру, обеспечивающую длительное время регистрации данных (до 12 ч) в условиях повышенного энергопотребления.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Агре М. Я.* Мультипольные разложения в магнитостатике // Успехи физических наук. 2011. Т. 181. № 2. С. 173–186.
2. Патент № 2181901 Россия. Способ каротажа с использованием ядерно-магнитного резонанса и устройство для его осуществления / Е. М. Митюшин, В. Ю. Барляев, Р. Т. Хаматдинов. 2002.
3. Патент № 2367982 Россия. Способ каротажа с использованием ядерно-магнитного резонанса и устройство для его осуществления / Е. М. Митюшин, С. С. Сошин, Р. Т. Хаматдинов. 2009.
4. Патент № 7075298 США. Method and Apparatus for Well Logging Using NMR with a Long Conductive Rare-Earth Magnet and Excitation Compensation in the Area of the Long Magnet / E. M. Mityushin, R. T. Khamatdinov, V. J. Barlyayev. 2006.
5. *Meiboom S., Gill D.* Modified Spin Echo Method for Measuring Nuclear Relaxation Times // Rev. Sci. Instrum. 1958. № 29. С. 688.