

- аппаратурный комплекс “Каскад-А” позволяет проводить скважинные исследования всеми методами с погрешностью, сопоставимой с измерением кабельных приборов;
- результаты ГИС позволяют решать геологические задачи по литологическому расчленению разреза, определению ФЕС, коэффициентов нефтегазонасыщенности во всех категориях скважин и коллекторах различного типа.

УДК 550.832:622.276.66

Н. В. Козяр, В. В. Коробченко

ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ УПРУГИХ ПАРАМЕТРОВ ПОРОД И КОНТРОЛЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА ПО МАТЕРИАЛАМ ПРИБОРА АВАК

Обобщен опыт работ определения параметров анизотропии пород и гидроразрыва пласта в прискважинной зоне по данным прибора АВАК, полученным в скважинах старого фонда.

Ключевые слова: анизотропия, каротаж, акустика, трещины, гидроразрыв.

Одним из наиболее действенных мероприятий увеличения дебита нефти и более полной выработки месторождений является гидравлический разрыв пласта (ГРП). Данные акустического каротажа позволяют определять упругие свойства горных пород в прискважинной зоне ($0,25$ – $0,5$ м) и отслеживать их изменение в процессе производства работ. Это позволяет произвести проектирование ГРП с учетом условий конкретной скважины, минимизируя риски и стоимость выполнения работ, и оперативно оценить соответствие полученного и запланированного результатов. Для обеспечения проведения данных технологических операций перед ГИС ставятся следующие задачи:

- 1) определение упругих свойств горных пород в интервале предстоящих работ;
- 2) выделение интервалов неоднородности горных пород и искусственных трещин;

3) определение направления их распространения по сторонам света.

Дополнительно необходимо оценить герметичность затрубного пространства и изменение состояния цемента после проведения ГРП.

Для определения упругих свойств (K , G , E , ν) горных пород используются данные плотностного и широкополосного акустического каротажа, получаемые при проведении полного комплекса ГИС (рис. 1).

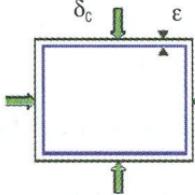
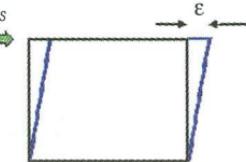
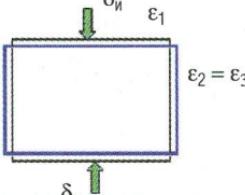
Упругие характеристики			
			
Модуль объемного сжатия	Модуль сдвига	Модуль Юнга	Коэффициент Пуассона
$K = \frac{\delta_c}{\epsilon}$	$G = \frac{\delta_s}{\epsilon}$	$E = \frac{\delta_u}{\epsilon_1}$	$\nu = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}$
$K = \sigma \frac{1 + \nu}{3\Delta t_p^2(1 - \nu)}$	$G = \frac{\sigma}{\Delta t_S^2}$	$E = \frac{2\sigma}{\Delta t_S^2} (1 + \nu)$	$\nu = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta t_S^2 - 2\Delta t_p^2}{\Delta t_S^2 - \Delta t_p^2}$
Δt_p – интервальное время продольной волны	Δt_S – интервальное время поперечной волны		σ – плотность

Рис. 1. Упругие характеристики твердых тел и формулы их расчета по данным ГГК-П и АК

В скважинах старого фонда в большинстве случаев отсутствуют данные плотностного каротажа, и для определения упругих свойств горной породы необходимо оценить их плотность (σ). Существует несколько способов расчета плотности горной породы. Наиболее распространенный – это определение плотности по литологии пород и их пористости, определенной при проведении окончательного каротажа, по формуле

$$\sigma = \sum_i V_i \sigma_{\text{ск}i} + k_{\text{п}} \sigma_{\text{ж}},$$

где V_i – доля компоненты скелета в породе; $\sigma_{\text{ск}i}$ – плотность компонент скелета; $k_{\text{п}}$ – пористость породы; $\sigma_{\text{ж}}$ – плотность флюида.

В последнее время более активно применяется способ определения плотности по уравнениям стохастической связи $\Delta t_p - \sigma$ (рис. 2) [1]. Использование палетки $\Delta t_p - \sigma$ для восстановления значений плотности основано на том факте, что зависимости $\Delta t_p - \sigma$ для неглинистых литологических разностей имеют разброс, не превышающий $0,04 \text{ г}/\text{см}^3$, и аппроксимируются с точностью $\pm 0,02 \text{ г}/\text{см}^3$ уравнением $\sigma = 1,5 + 196,25/\Delta t_p$. Для учета влияния глинистых минералов в рассчитываемые значения плотности вводится поправка в зависимости от коэффициента глинистости, определяемого по данным ПС или ГК.

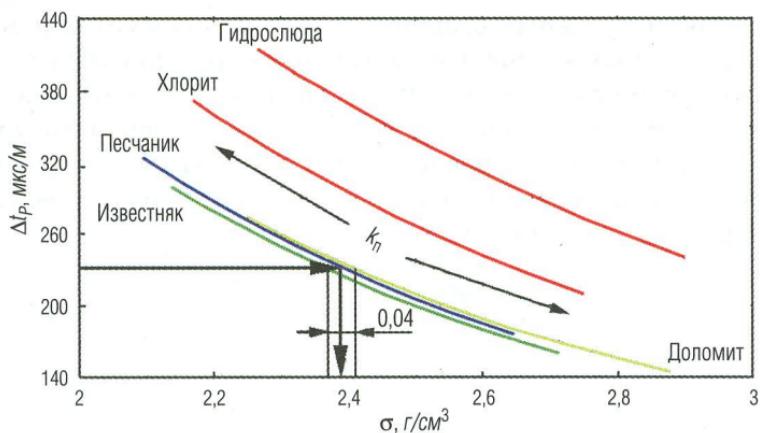


Рис. 2. Палетка $\Delta t_p - \sigma$ для пород разных типов

При проведении работ по определению азимута анизотропии горных пород “узким” местом является регистрация угла разворота прибора в процессе каротажа и расчет азимута направления XX приемников. Для решения этой задачи в приборе установлен блок акселерометров, с помощью которых можно определить углы наклона (Z – вертикально расположенный акселерометр) и разворот прибора ($X-Y$ – акселерометры в горизонтальной плоскости прибора). Этот блок надежно работает при углах наклона скважины больше 10° .

При записи в скважинах с углом наклона менее 10° , по причине больших погрешностей определения поправки за показания акселерометра Z , возникает необходимость использования альтернативных методик определения угла разворота прибора в скважине. Используемый метод расчета угла разворота прибора предполагает, что вращение

прибора обусловлено каротажным кабелем и осуществляется всегда в одну и ту же сторону. Исходя из этого допущения, коэффициент поправки за вертикальный угол показаний акселерометров X и Y можно заменить коэффициентом нормировки максимальных и минимальных амплитуд этих акселерометров. Использование данного подхода позволяет при наличии показаний инклинометрии проводить интерпретацию данных в вертикальных скважинах.

Технология определения азимута направления анизотропии горных пород впервые была разработана для приборов с антенной приемников [2]. При упрощении схемы регистрации (2 канала вместо 8 в каждом направлении) актуальным становится вопрос о симметричности показаний дипольных зондов. Симметричность (одинаковый результат при развороте приемника на 180°) обеспечивает определение азимута направления анизотропии по данным трехэлементного прибора, поскольку возникают два равнозначных варианта угла направления анизотропии относительно оси XX прибора и, соответственно, два равновероятных азимута анизотропии (рис. 3).



Рис. 3. Влияние симметрии показаний приемников на определение азимута направления анизотропии

Для получения единственного ответа необходимо использовать контрольные замеры с отличным от основной записи разворотом прибора относительно азимута скважины. При сравнении полученных результатов истинные азимуты анизотропии изучаемых горных пород совпадут, а "мнимые" разойдутся (рис. 4, а). При обработке данных, полученных приборами с 8 приемниками, проблемы с сим-

метричностью зондов нет, так как прибор непрерывно вращается (обеспечивается скорость вращения один оборот на 10 м) и при переборе пар приемников обеспечивается оценка азимута направления анизотропии при нескольких (до 7) азимутах направления осей XX приемников (рис. 4, б).

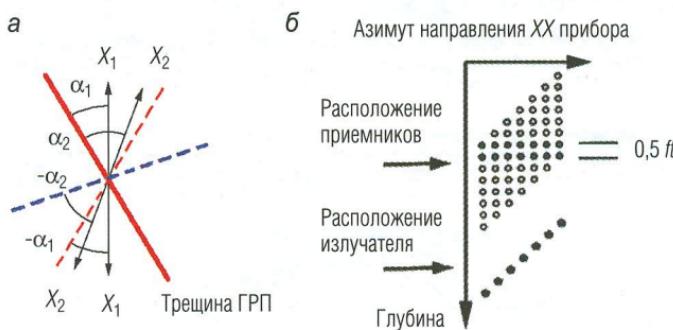


Рис. 4. Определение истинного направления азимута анизотропии по двум замерам (а); схема изменения азимута направления XX приемников и их расположение по глубине для прибора с 8 приемниками (б)

При контроле результатов ГРП по данным акустического каротажа существенную помощь в получении однозначной интерпретации оказывает наличие фонового замера (до проведения ГРП). Наличие этих данных позволяет найти области, изменившиеся в результате проведенного воздействия (рис. 5). Это позволяет выделять интервалы развития трещины по изменению зарегистрированных при каротаже данных с учетом геологических и технологических особенностей конкретной скважины. Наличие фоновых данных позволяет оценить результат проведенных работ с использованием большего числа параметров (амплитуды поперечной волны и параметры волны Стоунли), а анализ фонового замера на наличие за колонной каналов в цементном камне позволяет минимизировать вероятность разрыва незапланированных объектов. Особенно актуальны фоновые замеры, когда исследования производятся в породах с интервальным временем поперечной волны больше 600 мкс/м.

При определении результатов ГРП, по одному замеру после проведения ГРП, количество контролируемых параметров уменьшается.

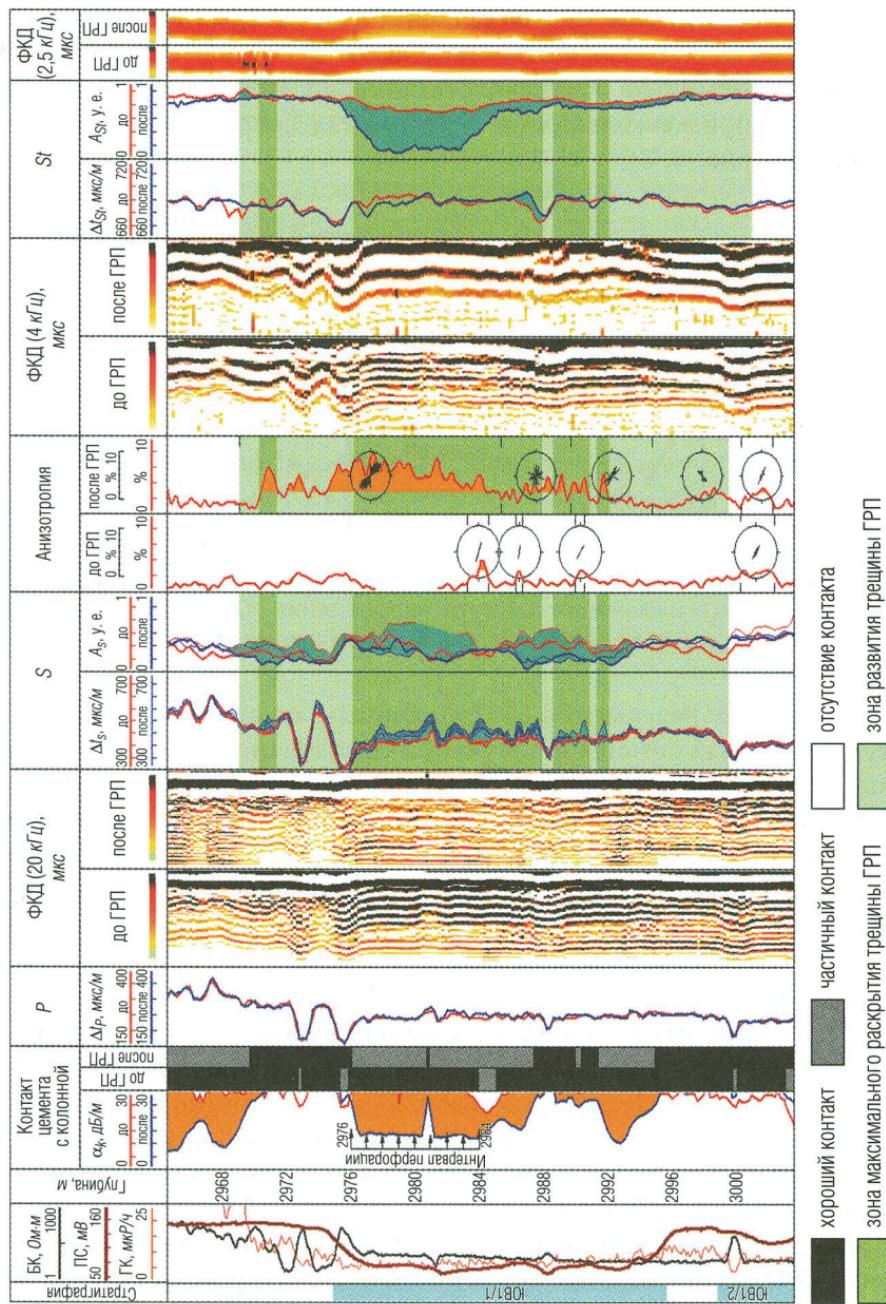


Рис. 5. Пример интерпретации результатов мониторинга ГРП

В этом случае корректно говорить только о текущей анизотропии горных пород и ее ориентации. В качестве интервала развития трещины ГРП выделяются только участки ее максимального раскрытия.

В приведенном на рис. 5 примере обработка и комплексный анализ данных, полученных прибором АВАК до и после проведения работ по ГРП, позволяют получить следующие результаты:

- по данным изменения $\Delta t_s, A_s$, анизотропии, $\Delta t_{s_l}, A_{s_l}$ можно выделить интервал развития трещины ГРП (светло-зеленый цвет). Наиболее чувствительным к данному параметру является уменьшение значений амплитуд поперечной волны и волны Стоунли;
- интервалы максимального раскрытия трещины ГРП выделяются по максимальному увеличению значений Δt_s (темно-зеленый цвет);
- рассчитать азимуты направления трещины ГРП (на сферических диаграммах в колонке “анизотропия” длина указателя направления пропорциональна величине анизотропии);
- в интервале перфорации по данным Δt_{s_l} отмечается небольшое уменьшение эффективной пористости в прискважинной зоне (до 0,5 м), связанное, вероятно, с заполнением части пустотного пространства пропантом;
- интервалы глубин с уменьшением A_{s_l} можно интерпретировать как увеличение проницаемости. Такие же изменения наблюдаются в интервалах с ухудшением контакта цемент–колонна (коричневая заливка);
- состояние цементного камня свидетельствует о том, что затрубное пространство в кровле и подошве пласта герметично. Ухудшение контакта цемент–колонна в интервале глубин 2970–2966 м связано с образованием микрозазоров между колонной и цементом, вызванным воздействием на колонну давления, возникшего при проведении ГРП. Со временем контакт, возможно, восстановится.

Накопленный опыт интерпретации данных АВАК, в частности определение азимута направления анизотропии и анализ результатов проведения ГРП, показал необходимость проведения следующих мероприятий:

- для определения азимута направления анизотропии проводить три полных замера в интервале исследования;
- обеспечить скорость вращения прибора один оборот на 10 м картотажа;
- записывать разворот прибора до интервала, в котором известен азимут скважины;

- при угле наклона скважины менее 10° расчет угла разворота прибора производить по алгоритмам, не использующим вертикальную составляющую;
- перед ГРП проводить фоновый замер.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козяр Н. В. Оценка упругих параметров пород и направления развития трещины ГРП по материалам акустического каротажа: Доклад на научно-производственной конференции “Вопросы проектирования и предварительного рассмотрения документации на разработку месторождений нефти и газа в Западной Сибири и пути их решения”. 2009.
2. Tang X. M., Cheng A. Quantitative Borehole Acoustic Methods // Seismic Exploration. 2004. Vol. 24.

УДК 550.832.582:681.2.088

Е. М. Митюшин, Р. Т. Хаматдинов, В. К. Громцев, С. С. Сошин

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

Рассмотрены вопросы применения российских приборов ядерно-магнитного каротажа искусственного поля. Описана методика метрологической аттестации соответствующей аппаратуры в ООО “Нефтегазгеофизика”.

Ключевые слова: магнитное поле, ядерно-магнитный томографический каротаж, спиновое эхо, аппаратура, метрология, методика.

2 февраля 2001 г. в Оренбургской области было проведено первое исследование скважины отечественным прибором ядерно-магнитного томографического каротажа (ЯМТК) [3, 7, 10]. На тот момент на российском рынке геофизических услуг для проведения ядерно-магнитного каротажа (ЯМК) в сильном магнитном поле использовались только два типа приборов: MRIL фирмы “Халлибартон” и CMR фирмы “Шлюмберже”. Несколько позже на российский рынок вышла фирма “Бейкер-Хьюз” с прибором MREX.