МИНИСТЕРСТВО НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ТЕХНОЛОГИЯ КОНТРОЛЯ ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ СКВАЖИН С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕГИСТРАТОРОВ ФАЗОКОРРЕЛЯЦИОННЫХ ДИАГРАММ ("ВОЛНА", БЁКА...)

РД 39-0147009-534-87

1986

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

УТВЕРЖДАЮ
Начальник Главного технического управления
_____ Г.И.Грищенко
"14" 01 1987 г.

ТЕХНОЛОГИЯ КОНТРОЛЯ ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ СКВАЖИН С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕГИСТРАТОРОВ ФАЗОКОРРЕЛЯЦИОННЫХ ДИАГРАММ ("ВОЛНА", БФКА...)

РД 39-0147009-534-87

НАСТОЯЩИЙ ДОКУМЕНТ РАЗРАБОТАН:

Всесоюзным научно-исследовательским институтом по креплению скважин и буровым растворам (ВНИИКРнефть)

Директор А.А.Булатов

Ответственный исполнитель

Заведующий лабораторией оценки качества заканчивания скважин В.Х.Дулаев

СОГЛАСОВАНО

Директор ВНИИБТ Е.П.Ильясов

Директор ВНИИнефтепромгеофизики И.Г.Жувагин
Акт ПИ № 39-04-016/211-86/26 от 31/XII-1986 г.

Начальник Главного производственного управления промысловой и полевой геофизики Н.А.Савостьянов

Начальник Управления по надзору в нефтяной и газовой промышленности Госгортехнадзора СССР Е.Н.Емельянов
Согласовано письмо от 16.01.87 № 13-21а-140

А Н Н О Т А Ц И Я

Изложена технология контроля цементирования скважин с применением регистраторов фазокорреляционных диаграмм ("Волна", БФКА...). Она является дополнением к "Руководству по применению акустических и радиометрических методов контроля качества цементирования нефтяных и газовых скважин" и РД 39-4-1024-84 "Технология исследований и интерпретации данных, полученных аппаратурой ЦМГА-2 и УЗБА-2I в различных геолого-технических условиях в обсаженных скважинах".

На промысловых примерах показаны приемы комплексной интерпретации цементограмм и фазокорреляграмм.

В работе по подготовке материалов и составлению настоящей методики принимали участие коллективы ВНИИКРнефти, КФ НИИморгеофизики, ВНИИНПГ, СевКавНИИгаза.

Составители: Е.П.Ильясов, В.Х-М.Дулаев, В.В.Беспалов, В.М.Сугак, А.Ф.Калиенко (ВНИИКРнефть);
П.А.Прямов, М.А.Сулейманов, Т.А.Чернышева (ВНИИНПГ);
В.И.Антоненко, Б.П.Ломачев (КФ НИИморгеофизики);
А.Я.Петерсон (КО СевКавНИИгаза).

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

ТЕХНОЛОГИЯ КОНТРОЛЯ ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ СКВАЖИН С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕГИСТРАТОРОВ ФАЗОКОРРЕЛЯЦИОННЫХ ДИАГРАММ ("ВОЛНА", БЁЖА...)

РД 39-0147009-534-87

Вводится впервые

Срок введения установлен с 19.01.87
Срок действия до 10.01.90

Технология предназначена для практического использования производственными нефтегазодобывающими объединениями и геофизическими трестами Миннефтепрома, контролирующими цементирование скважин и оценивающими его качество.

В настоящее время качество цементирования скважин оценивают в основном по данным акустического контроля цементирования (АКЦ) с использованием приборов АКЦ-4 (двухэлементный зонд), УЗБА-21 и ЦМГА-2 (трехэлементные зонды), позволяющих на законченной стадии формирования цементного теста определять высоту его подъема (АКЦ-4 только с приставкой ИПАК) и состояние контакта цементного камня с колонной, а иногда с породой (кроме АКЦ-4), изучать процессы его формирования в скважинных условиях, оценивать влияние механических, химических и других воздействий на состояние контакта обсадной колонны с цементной оболочкой, а также выявлять в благоприятных условиях дефекты цементирования.

Информативность метода АКЦ в сложных геолого - технических

ких условиях, в том числе, в наклонных скважинах и колоннах большого диаметра (техн.колонны, кондуктора) можно существенно повысить посредством введения регистрации наравне с аналоговыми параметрами фазокорреллограмм, реализованных в аппаратуре "Волна", рассчитанной на подключение к наземному прибору любой существующей на производстве аппаратуры акустического каротажа или контроля цементирования с использованием каротажных фоторегистраторов типа НО-15 и НО-28А.

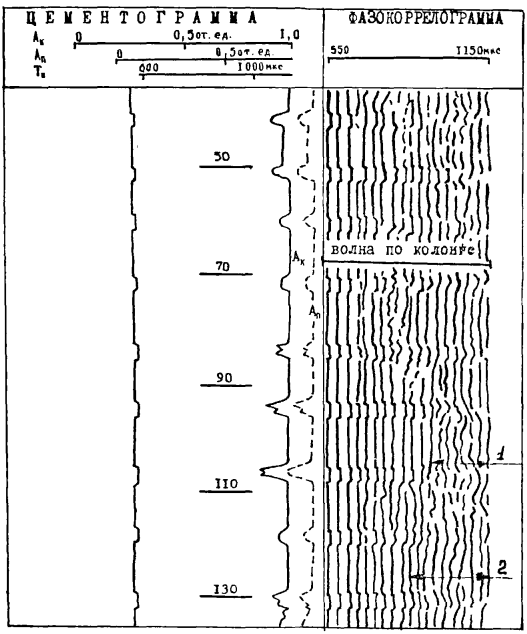
I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Индикатор записи фазокорреляционных диаграмм и визуального контроля "Волна" (в дальнейшем индикатор) состоит из двух частей: блока управления и блока визуального контроля и записи. Блок управления снабжен необходимыми элементами для настройки, выбора масштаба записи и уровня модуляции. Блок визуального контроля и записи содержит две малогабаритные электронно-лучевые трубки и устанавливается на специально подготовленное место на корпусе фоторегистратора.

I.2. Индикатор предназначен для записи фазокорреллограммы (ФКД) на фотоленте каротажного регистратора одновременно с аналоговыми кривыми АКЦ, а также для настройки и визуального контроля аппаратуры в процессе ее работы на скважинах.

I.3. Фазокорреллограммы (ФКД) представляют собой темные на белом или светлые на темном фоне линии фазовой корреляции (ЛФК), расстояние между которыми определяется периодами колебаний регистрируемого сигнала. В однородных по скоростям распространения упругих волн средах, когда их мощность (Н) больше или равна длине зонда, ЛФК обладают параллельностью. В незацементированной колонне (рис.I) параллельность ЛФК наблюдается во времен-

Характерный пример регистрации фазокорреляционных диаграмм зондом АКЦ-4 (f изл =25 кГц) (волны по породе прослеживаются слабо и на больших временах)



I – волна по породе;
2 – интерференционная картина колебаний

Рис.I

ном интервале, в котором умещается до 10-12 линий периодов колебаний. Искажение параллельности линий, соответствующих последующим периодам колебаний, обусловлено интерференцией волн, распространяющихся по колонне и по породе и, очевидно, будет зависеть от скорости последних, эксцентричности колонны и расстояния между колонной и стенками скважины.

I.4. В режиме регистрации с широтной модуляцией ширина ЛФК определяется амплитудами регистрируемых колебаний (рис.2), чем больше амплитуда, тем шире затемненность линии.

I.5. В качественно зацементированной скважине (жесткий контакт цемента с колонной и породой, отсутствие дефектов) упругие волны, распространяющиеся по колонне, быстро затухают ($\alpha_к \geq 30$ дБ/м), амплитуды колебаний выходят на уровень аппаратурных шумов и ЛФК отражают периоды колебаний продольных и поперечных волн, распространяющихся по горным породам (рис.3). При этом разрешенность ЛФК по типам волн зависит от амплитудно-частотной характеристики приемно-передающего тракта акустического зонда, в частности, от ее широкополосности.

I.6. В случае четко выраженных ЛФК по породе (рис.2,4) и при наличии ЛФК по свободной колонне представляется возможность расчета по формуле интервального времени $\Delta T_п$ распространения продольной или поперечной волны по породе:

$$\Delta T_{п,s} = \frac{1}{\ell}\left\{\left[\left(T_п - T_к\right) - \left[22 + n\left(T_{фп} - T_{фк}\right)\right]\right\} + 185, \qquad (1)$$

где $T_п$ – время распространения первого вступления, измеренное по фазовой линии в хорошо зацементированной колонне (рис.4);

Пример регистрации параметров АКЦ (ЦМГА-2) и фазокорреляционной диаграммы с широтной модуляцией в интервале свободной и хорошо зацементированной колонны

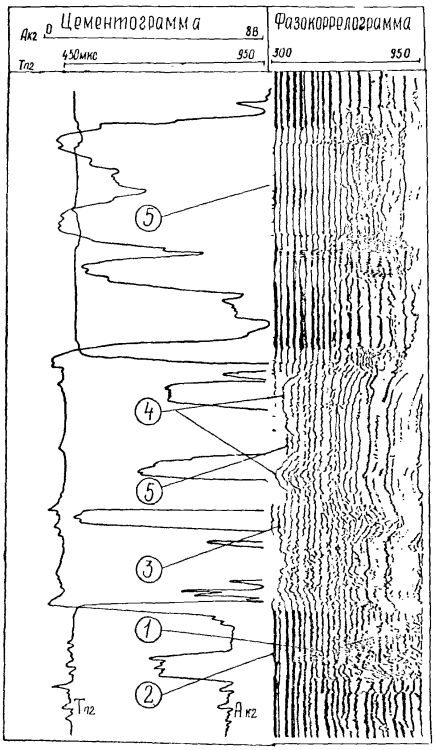


Рис.2

Пример записи фазокорреляционных диаграмм в интервале качественного цементирования скважин (терригенный разрез)

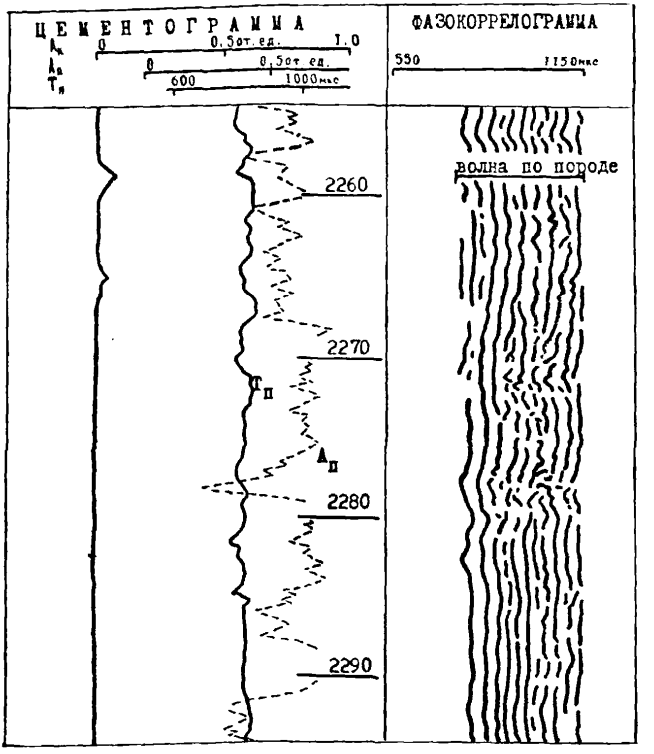
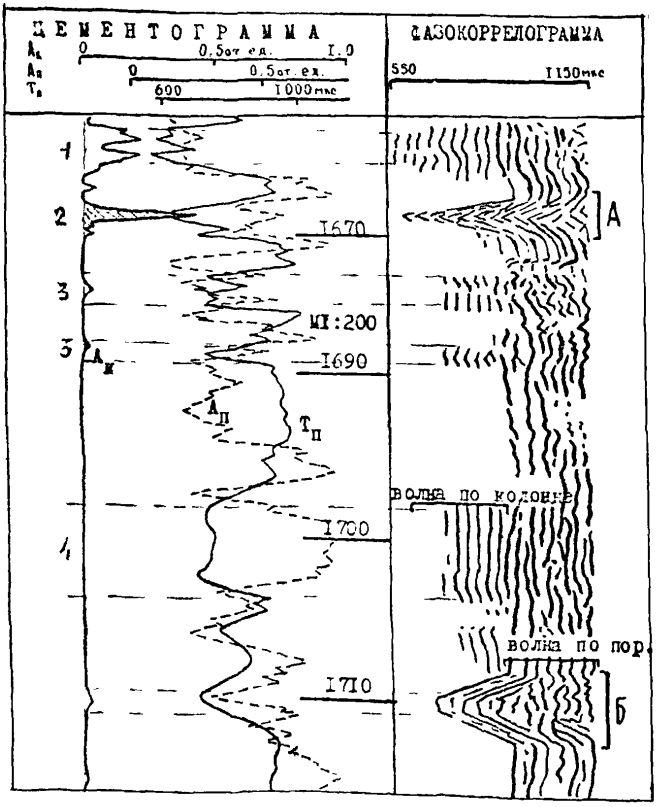


Рис.3

Пример регистрации фазокорреляционных диаграмм при плотном контакте цементного камня с колонной и высокоскоростной породой (интервалы А, В при $A_к > 0$)



1 – ЛФК соответствуют показаниям $A_к$, $T_п$, $A_п$;
2 – ЛЗК указывают на волну из породы при $A_к > 0$;
3,4 – ЛФК отмечают фазы последующих колебаний по колонне при $A_к > 0$ и при $A_к = 0$

Рис. 4

$T_к$ – время распространения первого вступления, измеренное по фазовой линии в свободной колонне (рис.I);

ℓ – длина зонда в метрах;

$n.(T_{фп}-T_{фк})$ – время (длительность), связанное с пропуском;

n – число циклов (периодов) колебаний волны, распространяющейся по породе, относительно первой фазовой линии волны, распространяющейся по колонне.

I.7. Муфтовые соединения обсадных труб по ЛЗК, равно как и по параметрам Ак, Ап, $T_п$, $\Delta T_п$ и $\alpha_к$, отбиваются только в интервалах незацементированной колонны (рис.I), а также при неплотном контакте (микрозазоры) цементного кольца с колонной и при наличии каналов, размеры которых по углу раскрытия β достигают I20-I80 ^{0} .

В ряде случаев на ЛЗК (рис.2) отмечаются аномалии, обусловленные волнами, отраженными от муфтовых соединений обсадных труб. Наиболее ярко они проявляются в интервалах незацементированной колонны. Указанные аномалии обладают характерным наклоном (рис.5), тангенс угла которого, определяемый отношением $\Delta H/\Delta T$ (где ΔH – линейный интервал в метрах, ΔT – временной интервал в микросекундах), есть не что иное как половинное значение скорости распространения продольной волны по обсадной трубе.

Следует отметить, что подобные аномалии на ФКД, полученные при исследовании разрезов необсаженных скважин, являются указателями резкой границы раздела между пластами или они будут связаны, вероятнее всего, с открытыми горизонтальными трещинами. В обоих случаях по углу наклона этих аномалий можно оценить величину скорости ($V_п$) в вышележащем пласте по отношению к скорости нижележащего.

II

Пример регистрации параметров АКЦ (УЗБА-2I) и фазокорреляционных диаграмм с широтной модуляцией с аномалиями от муфтовых соединений обсадных труб

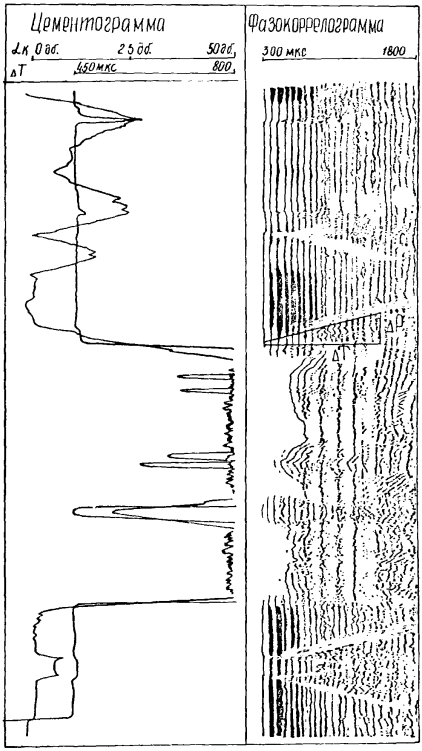


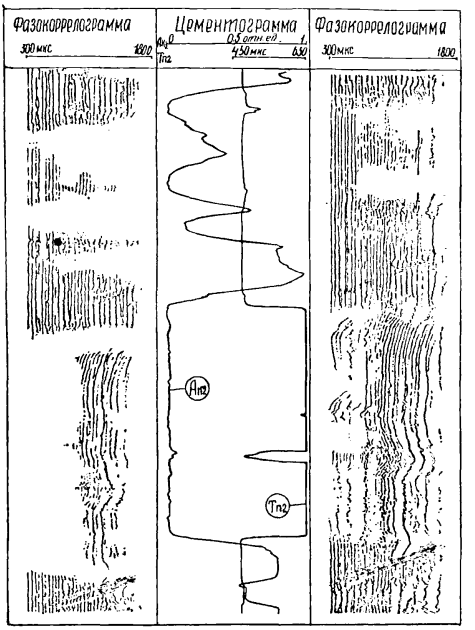
Рис. 5

I.8. Наличие на диаграмме ЛЗК по колонне и по породе зависит от ряда факторов, которые могут привести к несоответствию с аналоговыми параметрами и следовательно, к противоречивым выводам о состоянии герметичности цементного кольца. В частности, при большом коэффициенте усиления (рис.6а) будут превалировать ЛЗК, связанные с волнами, распространяющимися по колонне, которые затушевывают ЛЗК волн, распространяющихся по породе. Наоборот, при малом коэффициенте усиления (рис.6б) не исключена полная или частичная потеря ЛЗК в интервалах, где αк $\geq$ 30 дБ/м (Ак=0) и при αк $\leq$ 30 дБ/м (Ак >0). Аналогичные результаты можно получить и при правильной настройке блока "Волна" в условиях, когда промывочные жидкости, заполняющие колонну, имеют большую концентрацию газовоздушных пузырьков.

I.9. Наличие или отсутствие ЛЗК на диаграмме связано не только с волнами по колонне или по породе, но и с дефектами (каналы, зазоры, разрывы) в цементном кольце. Однако в общем случае выделить по ЛЗК конкретный вид дефекта затруднительно. С некоторой степенью вероятности тип дефекта можно определить по комплексу ЛЗК и кривым АКЦ. Так, например (рис.7), аномалии ЛЗК., отмеченные цифрой "3", с большей вероятностью можно отнести к каналам в цементном кольце, размеры которых по углу раскрытия "β" находятся в зоне малой чувствительности зонда ($\beta \ll 40^{\circ}$град) прибора АКЦ-4, чем аномалии, отмеченные цифрами "I", "2". Последние, очевидно, связаны с зазорами между колонной и цементным кольцом.

I.I0. Зазоры между цементным кольцом и стенками скважины (рис.8) отмечаются полной потерей ЛЗК. во всем регистрируемом временном интервале. Однако это определение не является однозначным, так как аналогичные аномалии ЛЗК присущи и имеют место

Пример регистрации параметров АКЦ (УЗБА-2I) и фазокорреляционных диаграмм при различной настройке индикатора "Волна" (БВКА)

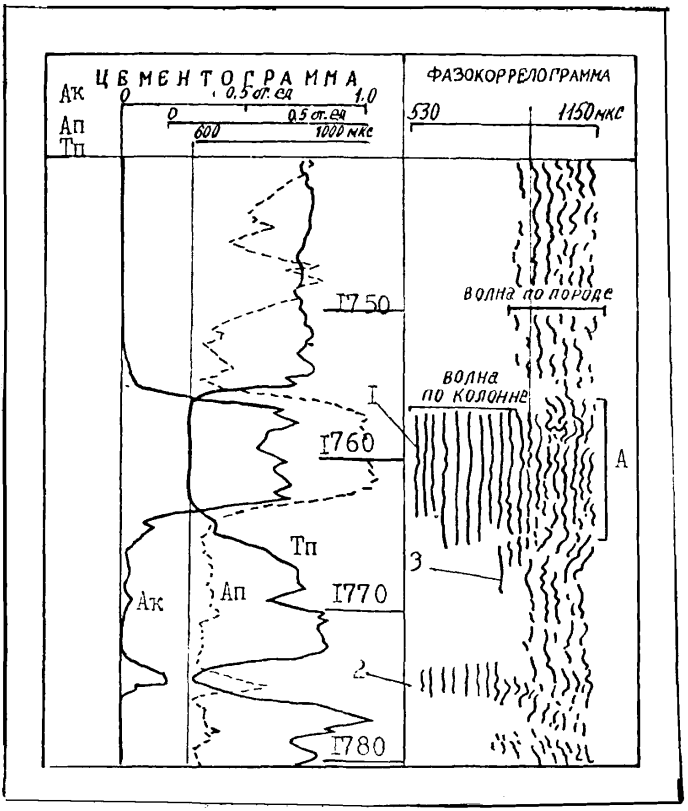


б а

а – при коэффициенте усиления I:4;
б – при коэффициенте усиления I:I

Рис.6

Пример выделения дефектов в цементном кольце



I – канал с $\beta \cong$ I80 °;
2 – зазор;
3 – канал с $\beta <$ 40 °

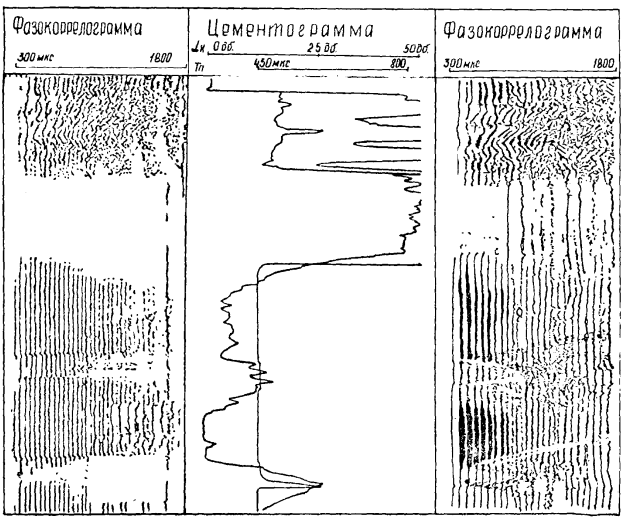
Рис.7

для интервалов пород с большим затуханием при жестком контакте цементного кольца с колонной и стенками скважины.

I.II. ЛФК имеют достаточно тесные связи с аналоговыми параметрами Ак, Ап, Тп, регистрируемыми двухэлементными зондами. Как правило, при Ак≠0 данные линии располагаются во временном интервале, характеризующем свободную колонну (рис.I,б). При этом параметр Тп равен или несколько больше времени Тк. В интервалах "высокоскоростных" пород (рис.4) четко, выделяемых по ЛФК, на параметр Ак (>0) оказывают влияние волны, распространяющиеся по породе, что говорит о жесткой связи цементного кольца с колонной и стенками скважины. С другой стороны, в интервалах терригенного разреза, когда Ак>0, а ЛФК отмечают волны из породы (рис.3), герметичность цементного кольца следует считать нарушенной, равно как и при Ак = 0 (см.рис.4), когда по ЛФК регистрируются волны, распространяющиеся по колонне.

I.I2. Расхождение между показаниями аналоговых параметров и ЛФК возможно в том случае, когда нарушено соотвтствие настройки блока "Волна" по отношению к настройке наземного прибора (пульта) АКЦ. В частности, если загрублена "чувствительность" блока "Волна", то на ФКД при наличии дефектов (Ак>0) будут пропущены линии волн, распространяющихся по колонне. Так, например, на рис.9 в интервале I877–I886 м ЛФК четко отмечают волны, распространяющиеся только по породе. В то же время отклонение параметра Ак от нулевого уровня указывает на наличие волны по колонне, что связано с дефектами (несплошные зазоры, каналы) в цементном кольце. Обратная картина наблюдается на рис.4 в интервале I698–I709 м. В этом случае Ак=0 и указывает на отсутствие дефектов, а ЛФК четко отмечают волны по колонне, что связано с наличием дефектов. Однако этот пример более всего от-

Пример регистрации фазокорреляционных диаграмм и аналоговых кривых



а – ЦМГА-2; б – УЗБА-2I

Рис.8

Пример регистрации комплексной диаграммы параметров АКЦ (АКЦ-4) и фазокорреллограммы

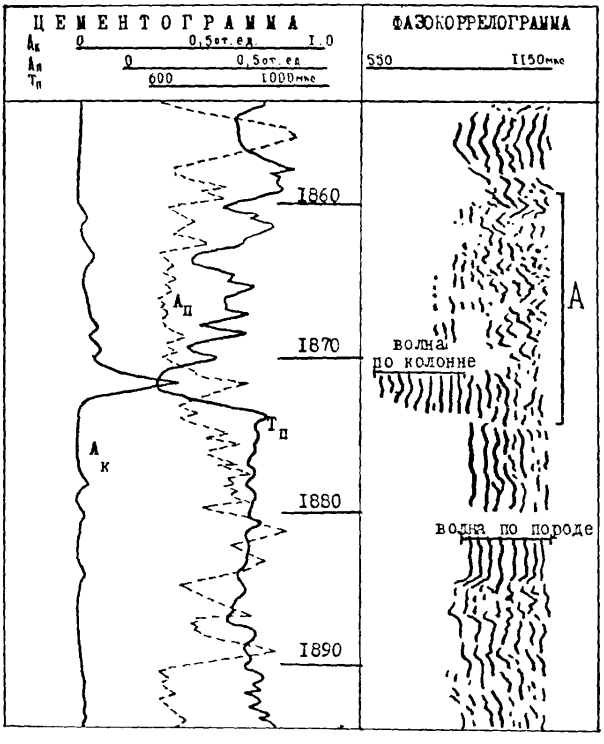


Рис.9

вечает на вопрос о недостаточной чувствительности индикаторных параметров к каналам в цементном кольце при $\beta \leq 40^{\circ}$, что говорит о несоответствии настройки блока "Волна" и наземной панели АКЦ.

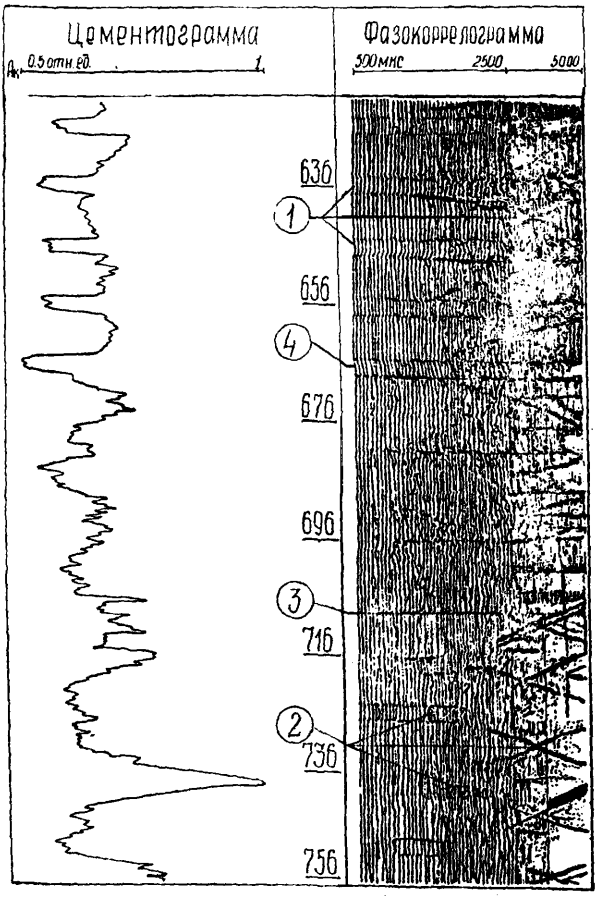
I.I3. Регистрация ФКД с применением комбинированной развертки (длительность растянутого диапазона 2 мс, сжатого – 2,5 мс, общая длительность развертки 4,5 мс) дает возможность определить положение башмака внешней колонны (рис.I0). Характерным признаком входа колонны в колонну является появление на фазокоррелограмме в области сжатой развертки дополнительного сигнала от внешней колонны (более сильная затемненность поля записи).

Кроме этого, впервые появилась возможность отбивки сварных соединений в трубах и места соединения сварной колонны с муфтовой.

I.I4. Регистрация на ФКД отраженных от муфтовых или сварных соединений сигналов, расположенных в области сжатой развертки, дает возможность определения высоты подъема тампонажных материалов за колонной. Участок колонны (рис.II), за которым имеется тампонажный материал, наблюдается на диаграмме светлым фоном (отраженные волны отсутствуют), а участок свободной колонны – более темным (на записи видны отраженные сигналы в виде темных пересекающихся полос).

Отсутствие отраженных волн на ранней стадии формирования цементного камня (после начала схватывания) объясняется тем, что тампонажный материал с этого момента начинает демпфировать колонну, и волны, отраженные от муфтовых или сварных соединений, энергия которых незначительна, затухают. В то время, как прямая волна по колонне будет существовать до тех пор,

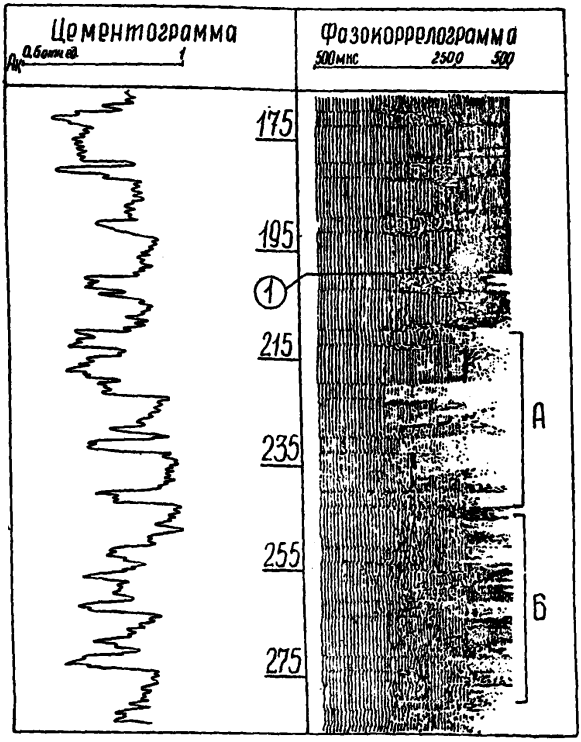
Пример записи фазокорреляционных диаграмм в комбинированной колонне (сварная колонна Ø I40 мм ниже 7I0 м, колонна на муфтах Ø I46 мм выше 7I0 м). Внешняя колонна Ø 2I9 мм



I – отбивка муфтовых соединений;
2 – отбивка сварных соединений;
3 – место положения башмака внешней колонны;
4 – место соединения сварной части колонны с муфтовой

Рис.I0

Пример записи фазокорреляционных диаграмм с комбинированной разверткой в колонне ∅ 146 мм по истечении 2 часов после заливки портландцементом



I – высота подъема тампонажного материала за колонной;

А – участок колонны с опережающим схватыванием цемента;

Б – участок колонны запаздывающего схватывания цемента

Рис. II

пока цементный камень не наберет прочность на изгиб более 0,6-0,8 МПа.

I.I5. Индикатор можно использовать с любым прибором акустического каротажа для регистрации ФКД (рис.I2) в открытом стволе скважины. При этом с помощью ФКД можно уточнить и скорректировать запись аналоговых кривых, в частности, при определении границ пластов.

2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

2.I. Требования к показателям назначения

2.I.I. Состояние контакта цементного кольца с обсадной колонной и горной породой должно определяться при использовании всех широко применяемых тампонажных материалов.

2.I.2. Состояние контакта цементного кольца с обсадной колонной и горной породой должно определяться в любых геологических разрезах скважины.

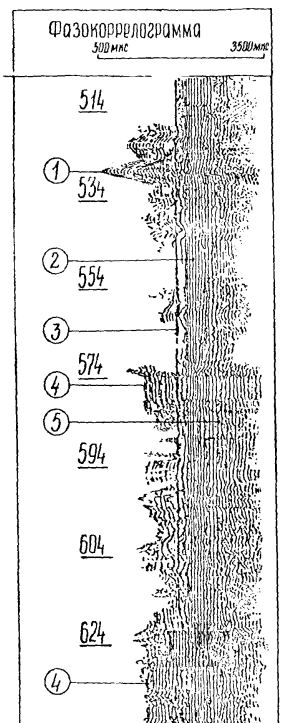
2.I.3. Высота подъема тампонажных растворов за обсадной колонной должна определяться при использовании всех широко применяемых тампонажных материалов.

2.I.4. Точность определения высоты подъема легких, облегченных и аэрированных тампонажных растворов должна быть не ниже, чем точность определения высоты подъема портландцементных и утяжеленных растворов.

2.2. Требование к надежности и патентной чистоте

2.2.I. Отношение суммарной протяженности участков ствола скважины с однозначной по данной технологии интерпретацией состояния контактов цементной оболочки к общей длине исследованного интервала должно быть не менее 0,82 .

Пример записи фазокорреляционных диаграмм
в открытом стволе скважины



I – высокоскоростной пропласт;
2 – гидроволна;
3 – волна Лэмба;
4 – среднескоростная порода;
5 – низкоскоростная порода

Рис.I2

2.2.2. Вероятность определения высоты подъема тампонажного раствора за обсадной колонной должна быть не менее 0,82.

2.2.3. Технология разработана на основе а. с. СССР № 1102920 "Способ определения высоты подъема тампонажных растворов в затрубном пространстве" а. с. СССР № 873184 "Устройство для записи фазокоррелограмм при акустическом каротаже" и положительного решения 27.06.86 на заявку № 394538/25 от 26.08.85 "Устройство для регистрации фазокоррелограмм".

3. ПЕРЕЧЕНЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И МАТЕРИАЛОВ

3.1. Технология должна реализоваться с помощью каротажных лабораторий, подъемников, аппаратуры акустического контроля цементирования скважин АКЦ-1, АКЦ-4, УЗБА-21 (производство ГДР), ЦМГА-2 и серийно выпускаемого индикатора "Волна" (БИКА).

4. ДАННЫЕ О РЕГЛАМЕНТЕ И РЕЖИМЕ РАБОТЫ

4.1. Сроки проведения исследований должны соответствовать принятым срокам проведения контроля цементирования скважин стандартной акустической аппаратурой.

4.2. Перед проведением исследований внутренняя поверхность зацементированной обсадной колонны должна быть очищена от цементной корки, солей, парафина, смол и прошаблонирована.

4.3. Зацементированная колонна должна быть заполнена жидкостью, не содержащей пузырьков газа.

4.4. Колонна должна быть заполнена до устья однородным по физическим свойствам раствором, обеспечивающим свободное

прохождение скважинных приборов.

5. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ И ТЕХНОЛОГИЯ КОНТРОЛЯ ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ СКВАЖИН

5.I. Подготовительные работы

5.I.I. Подготовка скважин к проведению исследований должна удовлетворять требованиям "Руководства по применению акустических и радиометрических методов контроля цементирования нефтяных и газовых скважин", г.Уфа, I978 (в дальнейшем "Руководство") и "Технологии исследования и интерпретации данных, получаемых аппаратурой ЦМГА-2 и УЗБА-2I в различных геолого-технических условиях обсаженных скважин" РД 39-4-I024-84.

5.I.2. Аппаратура акустического контроля транспортируется и подготавливается к работе согласно "Руководству" и РД 39-4-I024-84.

5.I.3. При получении индикатора со склада до начала проведения работ на скважине произвести подготовку его к работе, для чего необходимо снять наружный кожух с блока визуального контроля и записи, уложить его горизонтально, обеспечив доступ к проекционной электронно-лучевой трубке - ЭЛТ и объективу.

5.I.4. Ослабить винты, удерживающие объектив и проекционную ЭЛТ.

5.I.5. Расположить перед объективом блока визуального контроля и записи белый экран на расстоянии 52 мм при установке на НО-28А.

5.I.6. Соединить между собой блок управления и блок визуального контроля и записи с помощью соединительного кабеля.

5.I.7. Подключить индикатор к сети 220 В.

5.I.8. Установить переключатель "ФКД-ФКДШ" в положение "ФКД" и включить индикатор в режиме "Контроль".

5.I.9. С помощью потенциометра "Яркость" на передней панели блока визуального контроля и записи добиться четкого изображения точек на экране проекционной ЭЛТ.

5.I.I0. Наблюдая изображение (станция затемнена) точек на белом экране, приближая или удаляя ЭЛТ и перемещая объектив между ЭЛТ и экраном, добиться четкого их изображения при размахе 60 мм.

5.I.II. Закрепить окончательно объектив и ЭЛТ в блоке визуального контроля и записи.

5.I.I2. Закрыть блок визуального контроля и записи кожухом и закрепить его на фоторегистраторе НО-I5 или НО-28А согласно руководству по эксплуатации индикатора.

5.I.I3. Включить протяжку бумаги и сделать контрольную запись.

5.I.I4. Проявить бумагу и убедиться в четкости контрольной записи.

5.I.I5. Работы по п.п.5.I.3-5.I.I4 производить периодически, по мере необходимости, при ухудшении качества получаемых диаграмм (расфокусировки изображения).

5.I.I6. Индикатор транспортируется на скважину в каротажно станции в специальном упаковочном ящике, который должен быть закреплен и защищен от ударов.

5.2. Исследование скважин

5.2.I. Если перед проведением исследований индикатор находился при отрицательной температуре, его необходимо выдержать в нормальных условиях применения не менее 2 часов.

5.2.2. На месте проведения работ закрепить блок визуаль-

ного контроля и записи на фоторегистраторе.

5.2.3. Установить блок управления и соединить его с блоком визуального контроля и записи соединительным кабелем. Соединить клеммы "Земля" индикатора и приборной панели.

5.2.4. Включить вилку питания индикатора в сеть 220 В, соединить "Вход Си" и "Вход сигнала" соответственно с гнездом выхода синхроимпульсов и гнездом выхода сигнала (для ЦМГА-2 - "Вход ВК", для УЗБА-2I - "Сигнал зонда", СПАК-6 - "ФКД", для АКЦ-4 - "Контроль") наземной панели аппаратуры акустического цементирования и установить режим синхронизации индикатора синхроимпульсами дальнего зонда аппаратуры.

5.2.5. После включения наземной панели приборов акустического цементирования тумблером "Сеть" включить индикатор в режиме "Контроль" и дать ему прогреться в течение 5 минут.

5.2.6. Настройку аппаратуры АКЦ-4 провести согласно инструкции по ее эксплуатации, настройку УЗБА-2I и ЦМГА-2 производить по РД 39-4-I024-84, СПАК-6 - в соответствии с рекомендациями ВНИИНП.

5.2.7. Одновременно с настройкой аппаратуры акустического контроля цементирования в интервале незацементированной колонны осуществить настройку индикатора, для чего:

- переключатель "Работа-контроль" установить в положение "Работа";

- переключатель "ФКД-ФКДШ" - в положение "ФКДШ";

- переключатель "Порог" - в положение 0 дБ.

Переключить осциллограф к клемме "Контроль" индикатора.

5.2.8. Переключатель "Длительность" установить в одно из трех фиксированных положений I,5; 3,0 или 4,5 мс. Длительность развертки I,5 и 3,0 мс используется при регистрации ФКД в сква-

жинах с высоко- и среднескоростными породами при необходимости детального прослеживания первых фаз сигнала. Длительность развертки 4,5 мс является основной, поскольку записанные в этом диапазоне ФКД несут дополнительную информацию об отраженных от муфтовых или сварных соединений сигналах. Эту развертку необходимо использовать при определении высоты подъема облегченных тампонажных материалов, а также обычных на ранней стадии их формирования.

5.2.9. Переключателем "Задержка" установить такую длительность задержки, при которой первая фаза волны, распространяющейся по колонне, сместится к правому концу экрана на случай выявления высокоскоростных разрезов.

5.2.10. Переключателями "Усилие" и "Делитель I:5" установить на гнезде "Контроль" индикатора сигнал таким, чтобы амплитуда его второго вступления была равна: для ЦМГА-2 - 4 В; для УЗБА-2I - 3 В; для СПАК-6 - I,5 В; для АКЦ-4 - 0,5 В.

При этом для нормальной записи диаграмм в режиме широтной модуляции необходимо проверить, чтобы максимальный уровень волнового сигнала на гнезде "Контроль" не превышал 5 В, а точки на экране проекционной ЭЛТ не сливались в сплошную линию.

5.2.II. Ручкой "Яркость" на блоке визуального контроля и записи установить яркость на экране проекционной ЭЛТ такой, чтобы четко было видно яркую точку, соответствующую началу фазы сигнала, а за ней менее яркую полоску - линию широтной модуляции.

Ручкой "Яркость КК" установить необходимую яркость волновой картины на экране контрольной ЭЛТ.

5.2.12. При работе в условиях сильных помех рекомендуется включать фильтр. При работе с аппаратурой АКЦ-4 запись ФКД производить при обязательно включенном фильтре.

5.2.13. При сильных помехах, а также при необходимости получить запись определенных типов волн, отмечающихся повышенной амплитудой сигнала, переключатель "Порог" установить в одно из фиксированных положений от 0 до -40 дБ.

При этом поднимается порог дискриминации и на записи пропадут линии фаз волн малой амплитуды.

5.2.14. Во время записи изменять настройку индикатора так же, как и настройку приборов акустического контроля цементирования, запрещается.

5.2.15. В момент выхода скважинного прибора из раствора (или за несколько метров до выхода его на дневную поверхность при заполненной до устья колонне) установить переключатель "Работа-контроль" в положение "Контроль", а переключатель "ФКД-ФКДШ" - в положение "ФКД" и произвести запись контрольного сигнала до момента остановки скважинного прибора.

5.2.16. После окончания записи диаграмму необходимо проявить и убедиться в качественной записи фазокорреллограммы и аналоговых кривых.

5.2.17. По окончании работ на скважине отключить индикатор от сети, отсоединить блок управления от блока визуального контроля и записи и от панели аппаратуры контроля цементирования. Снять блок визуального контроля и записи с фоторегистратора. Индикатор уложить в упаковочный ящик.

5.3. Интерпретация получаемых данных

5.3.1. Требования к оформлению и приемке диаграмм

5.3.1.1. Диаграмма ФКД должна быть подклеена к диаграмме

с аналоговыми кривыми ΔTn и $\alpha_к$ или к диаграмме с кривыми Ак ($\alpha_{к1}$, $\alpha_{к2}$), Ап и Тп (T_I) с привязкой по глубинам.

5.3.I.2. На диаграмме ВКД должны быть прописаны:

– калибровочные метки времени от регистратора "Волна" или от калибратора используемой аппаратурой и указанием масштаба временной развертки;

– фазовые линии в интервале настройки аппаратуры (свободная колонна).

5.3.I.3. На диаграмме должна быть указана величина отсечки (6 мкс) начала вступлений ЛЗК относительно момента излучения.

5.3.I.4. Диаграммы ВКД должны регистрироваться одновременно с аналоговыми кривыми в тех же масштабах и с теми же интервалами перекрытия по глубине. При автономной регистрации ВКД на диаграмме должна быть обеспечена разбивка по глубине.

5.3.I.5. Масштаб регистрации (развертка) должен быть выбран таким, чтобы на ширине каротажной бумаги не менее I0 см укладывалось не менее 20 ЛЗК. При проведении специальных исследований в обсадных колоннах или разрезах необсаженных скважин масштаб развертки должен выбираться в соответствии с решаемой задачей. Так, например, для отбивки уровня подъема цементного раствора или цемента на ранней стадии его формирования (см.рис.II) длительность развертки должна составлять не менее 4,5 мкс и применяться широтная модуляция.

5.3.I.6. Нулевым значением Ак (АКЦ-4) или при $\alpha_к \geq$ 27–30 дБ/м (УЗБА-2I, ЦМГА-2) должны соответствовать ЛЗК с потерей не менее 5-ти первых фаз по отношению к первым фазовым линиям, полученным в интервале незацементированной или зацементированной с дефектами колонне.

5.3.I.7. Первая фазовая линия в свободной колонне по времени вступления должна соответствовать значению параметра Тп (T_I) и амплитудам Ак ($\alpha_{кI}$, $\alpha_{к2}$), Ап.

5.3.I.8. Диаграмма ФКД бракуется в следующих случаях:

- наличие большого фона помех, затушевывающих ДФК и затрудняющих отделение одной линии от другой и выделение линий, связанных с волнами, распространяющимися по горным породам;

- невозможность выделения первой фазовой линии (первого вступления) продольной волны в незацементированной колонне,

5.3.2. Определение верхнего уровня цементного кольца

5.3.2.I. Граница между цементным кольцом и промывочной жидкостью (рис.I3) определяется по исчезновению множества (I0-I5) параллельных фазовых линий, связанных с волнами, распространяющимися по незацементированной колонне (см.рис.7), и появлением фазовых линий волн, пришедших из породы, возникновение которых на записи определяются физико-механическими свойствами цементного кольца и стенками скважины. Момент перехода одних волн в другие, но только в том случае, когда в верхних интервалах скважины вышеуказанного эффекта не наблюдается, характеризует верхнюю границу цементного кольца.

5.3.2.2. Четкость отбивки этой границы зависит от ряда факторов в частности, от состояния контакта (сцепления) цементного кольца с колонной, а также от скоростей упругих (продольных) волн, распространяющихся по породам в интервале, приуроченном к уровню подъема цементного кольца. Очевидно, в терригенном разрезе, когда $V_п \leq V_к$, данная граница будет отбиваться наиболее эффективно, так как фазовые линии волн из

породы будут вступать гораздо позднее фазовых линий волн по колонне (см.например, рис.5). При нарушении целостности цементного кольца четкость отбивки данной границы несколько снижается.

5.3.2.3. Наиболее сложно, но возможно в этих условиях определить уровень подъема в карбонатных отложениях (рис.I3), когда цементом перекрыты высокоскоростные породы ($V_п \geqslant V_к$). Для этого необходимо сначала убедиться в наличии цемента в нижележащих интервалах (см.ин-л 235-243 м), где четко прослеживаются волны из породы (качественный цементный камень), а затем в верхних горизонтах с некачественным цементным кольцом оценить принадлежность ЛфК к волнам из породы, так, например, в интервале 23I-235 м (тонкий низкоскоростной пропласток) наряду с волнами по колонне прослеживаются в последующих вступлениях фазы волн, распространяющиеся по породе. Совокупность тех и других волн на записи является признаком наличия некачественного цементного кольца в затрубном пространстве, верхняя граница которого (отсутствие волн из породы) на глубине 23I м характеризует уровень его подъема и практически совпадает с уровнем, отбиваемым по аналоговым кривым Δ Тп и Тп (ТI). Однако этот уровень может не совпадать с границей, определяемой по кривым Ак ($\alpha_{к1,2}$) и $\alpha_к$, которые чувствительны не только к цементному камню, но и к любому веществу в затрубном пространстве, имеющему повышенную плотность, а также к толщине обсадных труб.

5.3.2.4. По ЭКД с использованием выражения (I) можно оценить скорость в том или ином пласте, так, например, в интервале 235-243м (рис.I3) скорость продольных волн, оцениваемая по грубым масштабам регистрации, принятым при АКЦ, со -

Пример регистрации фазокоррелограмм и аналоговых кривых в приустьевой части скважины

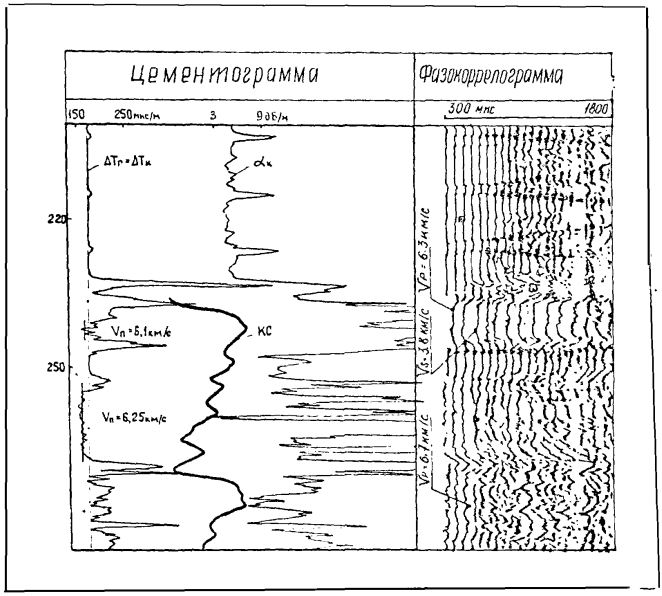


Рис.13

ставляет 6300-6450 м/с. Примерно такое же значение скорости получено и по кривой ΔТп, но только на очень маленьком отрезке данного пласта, в интервале которого кривая Δ Тп зарегистрирована с искажением. В том случае, когда кривая Δ Тп регистрируется без искажений, как, например, в интервале 255-267 м, тогда скорости, определяемые по Δ Тп и ФКЛ, составляют соответственно 6250 м/с и 6630 м/с, т.е. различаются между собой менее чем на 6 %.

При детализации масштаба регистрации ЛЭК и соответствующей калибровке точность оценки скорости в горных породах в обсаженной скважине может удовлетворять целям промысловой геофизики.

5.3.3. Корректировка интерпретации данных АКЦ-4

5.3.3.1. Интерпретация аналоговых кривых АКЦ-4 (Ак, Ап, Тп), особенно в интервалах карбонатного разреза скважины, сопряжена с рядом трудностей, приводящих к неверным выводам о состоянии цементного кольца. Выдаваемые геофизиками заключения по данным АКЦ, как правило, содержат сведения о плохом или частичном сцеплении цементного кольца, хотя в карбонатном разрезе, вероятно, существует наименьшее количество факторов, влияющих на его состояние.

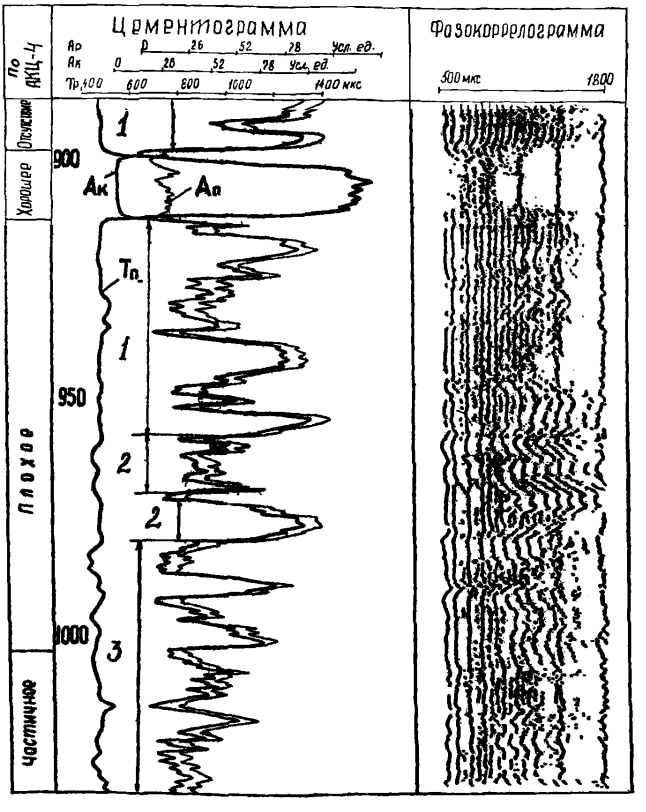
5.3.3.2. Ошибочность заключений, как показала практика, связана с низкой эффективностью регистрируемых аппаратурой АКЦ-4 параметров и недостаточно тщательной их интерпретацией. Как известно, карбонатные породы обладают высокими скоростями распространения упругих волн (от 5,8 до 7,2 км/м) и низкими коэффициентами затухания. В подобных высокоскоростных разрезах в фиксированное "окно" регистрации амплитуды Ак при жестком контакте цементного кольца с колонной и породой (высокая

герметичность) попадают высокоинтенсивные колебания из породы. В результате этого амплитуда Ак отклоняется от нулевого уровня (только нулевой уровень характеризует отсутствие дефектов в цементном кольце) в зависимости от ее величины, определяется частичное (нежесткий контакт) или плохое (отсутствие контакта) сцепление его с колонной. При этом показания Ак обычно совпадают с показаниями Ап, что свойственно для плохо зацементированной колонны. Аналогичные показания этих параметров будут и при фактическом наличии указанных дефектов в цементном кольце. Благодаря применению ФКД ошибочность при интерпретации материалов АКЦ-4, а следовательно, и выдаваемых заключений полностью устраняется. Корректировка аналоговых кривых по ФКД основана на том, что по последним (рис.I4), практически, безошибочно оценивается принадлежность первых и последующих фаз колебаний регистрируемого сигнала к волнам, распространяющимся по колонне и породе или только по породе. Последнее условие может быть выполнено только в одном случае, а именно, при отсутствии дефектов в цементном кольце и жестком контакте его с колонной и стенками скважины. Как следует из приведенного на рис.I4 примера, отнесение ЛФК к волнам по колонне или по породе может быть сделано безошибочно, особенно с использованием критериев, описанных в разделе 2, что в конечном итоге приводит к высокой объективности оценки состояния цемента за обсадной колонной.

5.3.4. Корректировка интерпретации данных УЗБА и ЦМГА-2

5.3.4.I. Благодаря использованию количественных параметров α к и ΔТп указанные выше трудности при интерпретации данных УЗБА-2I и ЦМГА-2 в карбонатном разрезе в большинстве случаев не возникают. Как правило, наблюдается (рис.I5)

Пример корректировки интерпретации данных АКЦ-I,4 в интервалах высокоскоростных разрезов



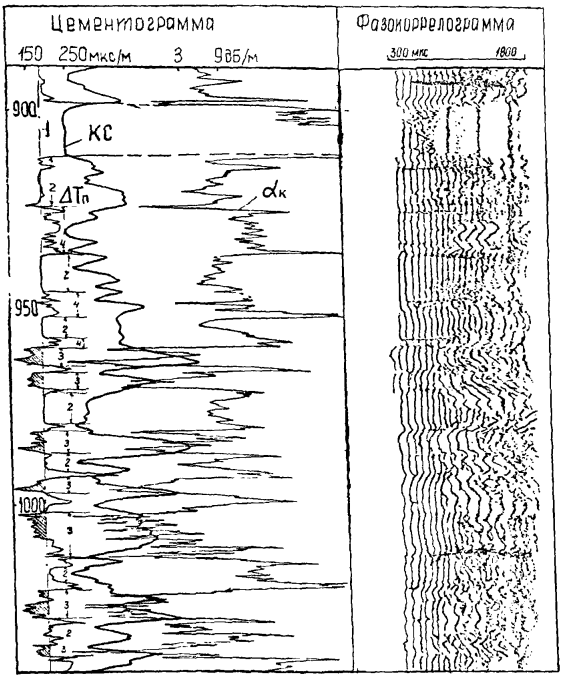
I – контакт цементной оболочки с горной породой отсутствует;

2 – контакт цементной оболочки с горной породой хороший;

3 – контакт частичный

Рис.I4

Корректировка интерпретации данных УЗБА-2I
по фазокоррелограмме



Совпадения показаний ЛЕК и УЗБА-2I: в низкоскоростном разрезе – I; при некачественном цементировании – 2; в высокоскоростном разрезе – 3; 4 – по ЛЕК волна по колонне по ΔTп и αк – неопределенность.

Рис.I5

соответствие ЛФК и показаний УЗБА-21 как в высокоскоростном, так и низкоскоростном разрезе, а также и при некачественном цементировании. Однако в целом по диаграмме (на интервале 0--1800 м) все же можно выделить несколько участков небольшой протяженности, в которых кривые $\Delta T_п$ и $\alpha_к$ нельзя отнести к соответствующим критериям, характеризующим состояние цементного кольца. В данном случае, т.е. при детальной интерпретации, использование ФКД позволяет устранить неопределенность оценки и дать однозначное заключение.

5.3.5. Возможность приблизительной оценки степени заполнения цементом затрубного пространства

5.3.5.1. Подобная оценка, пусть даже и с малой вероятностью и на качественном уровне необходима в том случае, когда данные АКЦ отмечают интервал свободной колонны протяженностью 50-100 м, выше и ниже которого отмечается наличие цементного кольца. По аналоговым параметрам обычно невозможно определить, есть ли цемент в этом интервале, тогда как информация, заключенная в фазокорреллограммах, позволяет ответить на этот вопрос положительно (хотя и на качественном уровне) посредством анализа всей совокупности ЛФК, включая волны по колонне и по породе. Так, например, в интервалах неплотных пород (рис.16), т.е. там, где низкоскоростные и высокопоглощающие упругие волны по породе несущественно влияют на ЛФК по колонне (см. интервалы: 347-361м; 402-410 м; 417-433 м; 446-453 м; 468-488 м; 530-539 м), количество ЛФК волн по колонне в этом случае изменяется в указанных интервалах от трех до девяти линий.

Очевидно, чем больше этих линий, тем меньше цемента в затрубье. Аналогичный вывод можно сделать и по интервалам высокоскоростных пород (410-417 м; 433-445 м; 453-468 м; 501-510 м), где наблюда-

Пример вероятной оценки наличия цемента за обсадной колонной в некачественно зацементированном интервале скважины

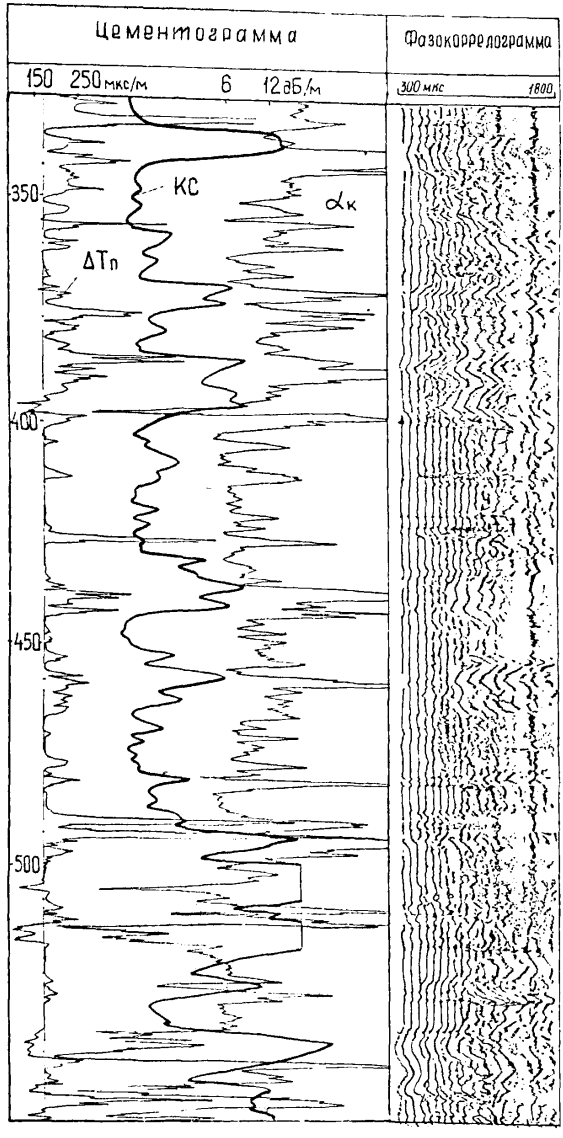


Рис.16

ется также закономерность, а в интервалах с полным отсутствием цемента, например, в интервале кондуктора (см.рис.I3) количество этих линий доходит до I2-I4.

6. ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ И ВЛИЯНИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

6.I. При проведении исследований скважин должны выполняться требования "Правил безопасности в нефтегазодобывающей промышленности" (М., "Недра", I975 г.), "Правил безопасности при геолого-разведочных работах" (М., "Недра", I979 г.) и "Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей" (М., I976 г.).

6.2. При использовании технических средств, поименованных в п.3, и технологии исследований в соответствии с п.5 вредного влияния на окружающую среду оказано быть не может.

7. ОРГАНИЗАЦИЯ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ

7.I. Технология должна быть внедрена во всех геофизических трестах Миннефтепрома, Мингазпрома и Мингеологии СССР.

7.2. Технологией могут пользоваться геофизические организации, имеющие любые регистраторы фазокоррелограмм.

7.3. Миннефтепромом с I987 г. в г.Баку на БОЗЗГП организован выпуск фазокоррелографа - индикатора "Волна".

gost.e-ecolog.ru