

УДК 550.832.44

Н. В. Козяр, В. В. Коробченко, В. В. Рыбаков
ООО «Нефтегазгеофизика»

Т. С. Полкова
ОАО «Когалымнефтегеофизика»

М. Л. Михеев
ООО «ТНГ-Групп»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ПРИБОРА НА ОТРАЖЕННЫХ И ПРЕЛОМЛЕННЫХ ВОЛНАХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБСАДНОЙ КОЛОННЫ СКВАЖИНЫ И ЗАТРУБНОГО ПРОСТРАНСТВА

Рассмотрены вопросы оценки технического состояния обсадных колонн и заполнения затрубного пространства цементом. Описан способ азимутального и радиального зондирования стенки колонн и затрубного пространства. Показаны возможности прибора АСТП на моделях и реальных скважинах.

Ключевые слова: ультразвуковые исследования, облегченный цемент, азимутальное зондирование, обсадные колонны, толщина.

Ужесточение экологического контроля за строительством скважин приводит к необходимости более однозначного определения технического состояния обсадных труб и герметичности заколонного пространства. Для решения этой задачи совершенствуются старые и разрабатываются новые методы геофизического контроля процесса цементирования скважин.

Широко используемые при техническом контроле состояния обсадных труб ультразвуковые приборы на отраженных волнах (например, телевизор акустический скважинный (сканер) – АСТ) с частотой излучения от 300 до 1000 кГц позволяют получить детализированные данные о состоянии обсадной колонны, однако не позволяют однозначно идентифицировать компоненты волнового поля, которые формируются в кольцевом пространстве за обсадной колонной. В связи с этим данные, регистрируемые такими приборами, используются для определения износа внутренней стенки обсадной колонны (первая граница) и ее толщины, а также оценки агрегатного состояния вещества на внешней границе обсадной колонны (вторая граница) – импеданса среды, контактирующей с колонной. При кажущейся универсальности

данного типа приборов для оценки технического состояния обсадной колонны и межколонного пространства они имеют один существенный недостаток – малая глубинность определения импедансов вещества за колонной. Проведение замеров на моделях показало, что тонкий слой цемента (менее 2 мм) на внешней стенке колонны приводит к сильному затуханию сигнала реверберации (рис. 1) и определяется по данному методу как цемент.

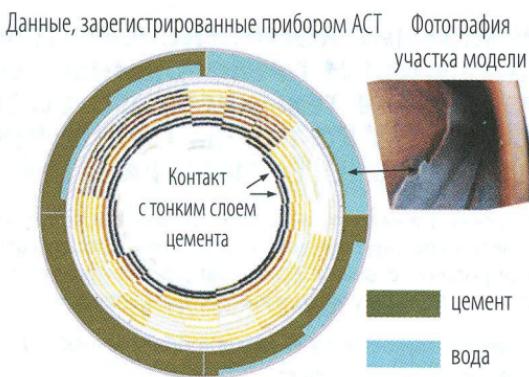


Рис. 1. Полярная диаграмма данных, зарегистрированных зондом на отраженных волнах на модели. Тонкий слой цемента (< 2 мм) приводит к затуханию сигнала реверберации колонны, что соответствует максимальному значению определяемого импеданса среди за колонной

Для решения этих проблем было предложено [1, 2] использовать аппаратуру с генерацией в обсадной колонне сдвиговых колебаний (поперечной волны). На вращающейся головке прибора АСТП (телевизор акустический скважинный (сканер) на преломленных волнах) расположено 4 преобразователя (рис. 2). Направленный под прямым углом зонд для работы с отраженным сигналом (аналогичный зонду прибора АСТ) и три преобразователя направлены под углом. Излучатель испускает высокочастотный (250 кГц) импульсный пучок, возбуждающий в обсадной колонне преимущественно поперечные (*S*) волны. По мере распространения в колонне они генерируют упругие волны в среде, контактирующей с обсадной колонной.

Волны, распространяющиеся в затрубном пространстве, отражаются от границ между средами, имеющими акустический контраст, и возвращаются через обсадную колонну к приемникам (рис. 3).

Отражающими границами являются контакт жидкость–цемент или цемент–жидкость, жидкость–стальная колонна и микрозазоры между цементом и колонной.

Использование в приборе зондов, работающих на разных физических принципах, позволяет определить широкий диапазон технических параметров состояния обсадной колонны и затрубного пространства. Схема обработки зарегистрированных данных показана на рис. 4. Обработка начинается с вычисления геометрической формы обсадной колонны и идентификации материала непосредственно за обсадной колонной. Для этого используются акустический импеданс материала за колонной, определенный эхоимпульсными измерениями, и затухание поперечной волны в колонне, рассчитанное по амплитудам первых вступлений, зарегистрированных наклонными приемниками.

Оценка заполнения затрубного пространства цементным камнем и выделение в нем каналов базируется на регистрации эхо-сигналов на огибающей кривой волновой картины после вступления от обсадной колонны и регистрации их времени вступления и амплитуды. По этим данным определяется эксцентриситет обсадной колонны и наличие отражающих границ в затрубном пространстве.

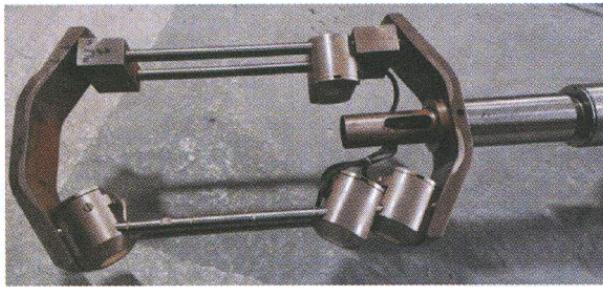


Рис. 2. Фотография зондовой части прибора АСТП

Прибор одинаково эффективен при выявлении отражающих границ контакта жидкости как с плотным, так и с легким цементом. При работе прибора на модели с цементом плотностью $1,1 \text{ г}/\text{см}^3$ (рис. 5) был получен контрастный сигнал от границы жидкость–цемент. Моделировался цемент, полученный с использованием продувки газом. Газ в цементе имитировался пенопластовыми шариками (рис. 5, а). Сигнал от границы цемент–жидкость не зарегистрирован в связи с сильным затуханием рабочей волны в цементе.

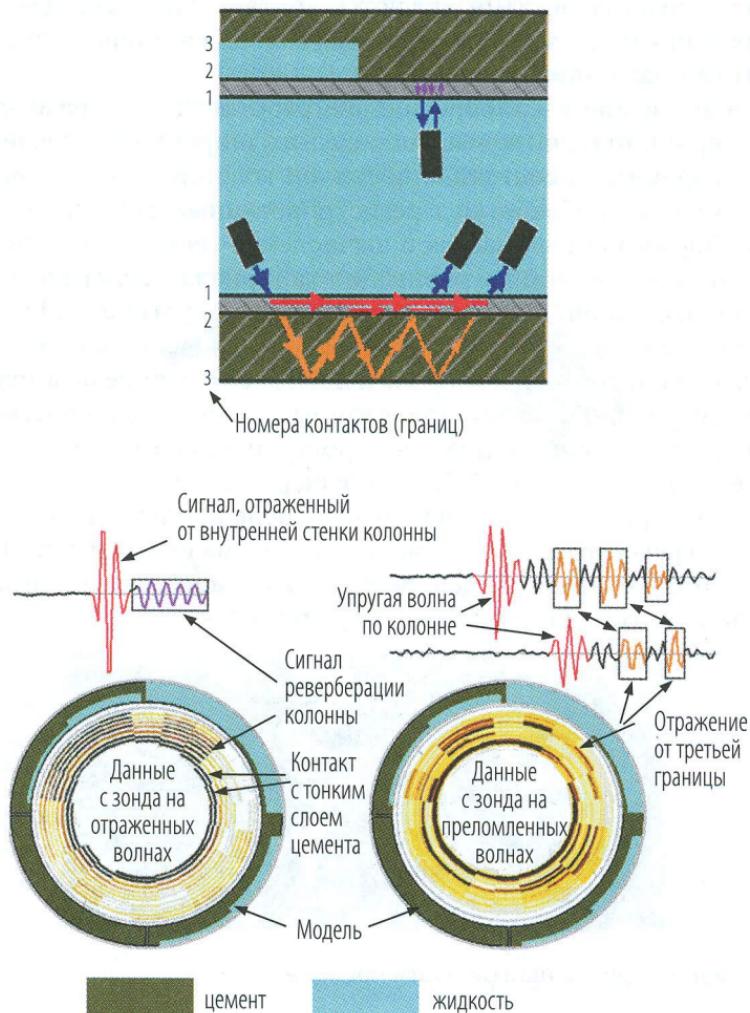


Рис. 3. Схема измерений и пример данных, регистрируемых при каротаже прибором АСП. Приведены полярные диаграммы данных, полученные на модели с плотностью цемента $2,1 \text{ г}/\text{см}^3$. Номера границ: 1 – промывочная жидкость – внутренняя стенка обсадной колонны; 2 – внешняя стенка обсадной колонны – цемент или жидкость; 3 – цемент–жидкость, жидкость–цемент, порода или внешняя обсадная колонна

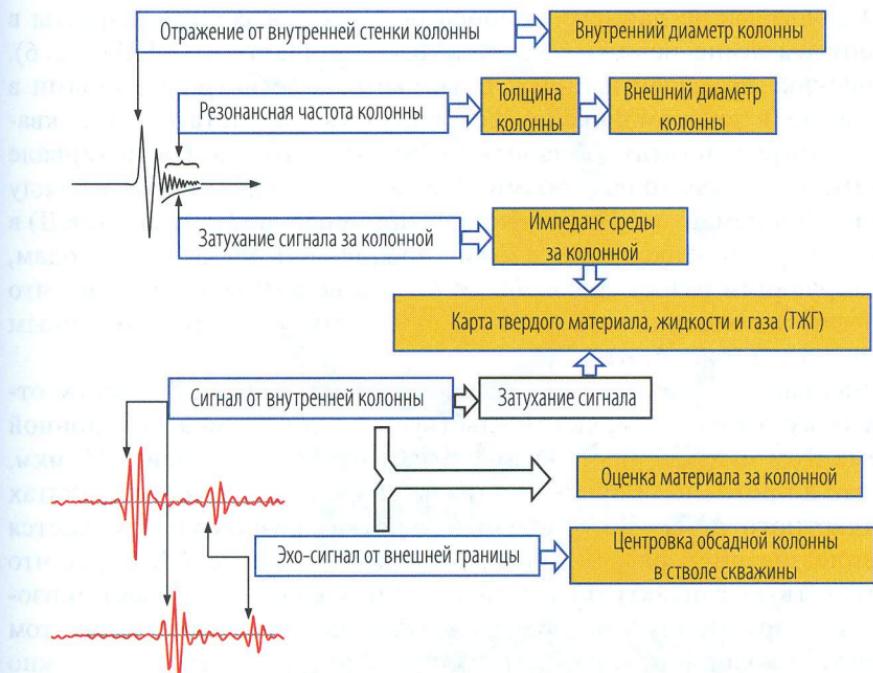
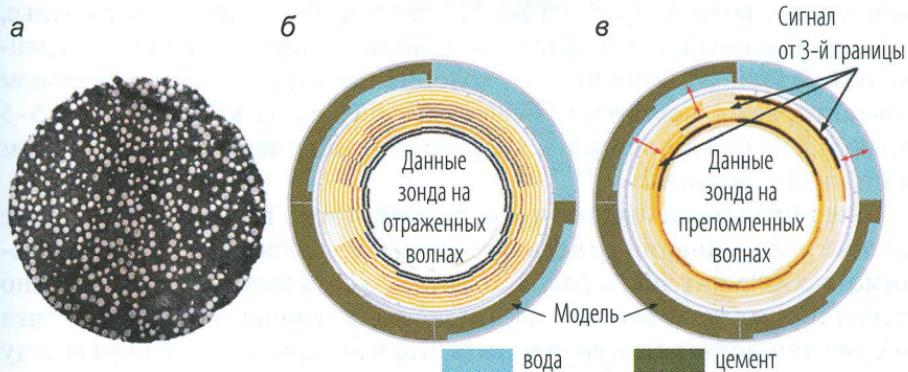


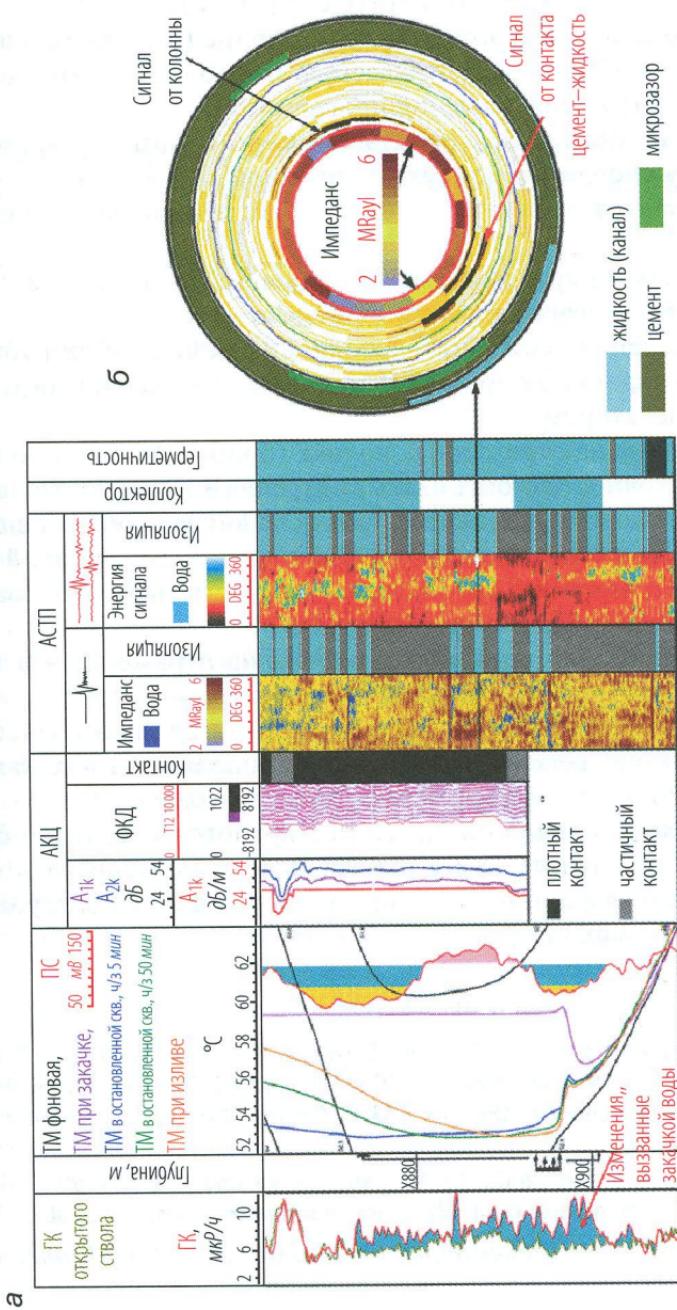
Рис. 4. Схема обработки сигнала, записанного прибором АСТП

Рис. 5. Полярная диаграмма данных, зарегистрированных прибором АСТП на модели с легким цементом. Плотность цементного камня – 1,1 г/см³; *a* – фотография цемента; *b* – данные с зонда, работающего на отраженных волнах; *c* – данные с зонда, регистрирующего преломленные волны

Использование данного прибора позволяет выявлять дефекты в цементном камне, невидимые для методов стандартного АКЦ (рис. 6). На рисунке приведен планшет с данными, зарегистрированными в интервале, в котором фиксируется жидкость в нагнетательной скважине. По результатам обработки стандартного АКЦ в интервале перемычки между коллекторами отмечается плотный контакт между колонной и цементом. На фазокорреляционных диаграммах (ФКД) в этом интервале фиксируются фазы продольной волны по породам, формирующим разрез скважины, и затухание волны по колонне, что говорит о заполнении затрубного пространства цементом по данным этого метода (рис. 6, а).

Уменьшение значений импедансов, рассчитанных по данным отраженного эхо-сигнала, свидетельствует о наличии между колонной и цементом микрозазоров. Размер этих микрозазоров менее 50 мкм, так как в противном случае они бы фиксировались и на результатах стандартного АКЦ. На отдельных участках развертки отмечается падение значений рассчитанных импедансов (менее 2 МRayl), что соответствует контакту обсадной колонны с водой. Эти участки изолированы друг от друга интервалами, характеризующимися контактом цемента с колонной, мощностью более 2 м (рис. 6, а), что должно быть достаточным для герметизации заколонного пространства в добывающей скважине. На сигнале, записанном зондом на преломленных волнах прибора АСТП (рис. 6, б), отмечается импульс, сгенерированный на контрастной границе цемент–жидкость. По данным отраженного эхо-сигнала, колонна в секторе с этим импульсом контактирует с цементом (значения импедансов в диапазоне 3,5–5 МRayl), следовательно, канал перетока расположен между цементом и стенкой скважины.

Для определения герметичности затрубного пространства, кроме данных о заполнении отдельных его интервалов цементом, необходимо также учитывать расположение этих участков относительно коллекторов. Сведя воедино все имеющиеся данные (рис. 6, а, колонка «Герметичность»), можно отметить, что в интервале водоупора между коллекторами фиксируются три интервала с заполнением затрубного пространства цементом. Мощности этих интервалов менее 2 м, что недостаточно для обеспечения герметичности затрубья на этом участке скважины.



Подводя итог, необходимо отметить следующее:

1. Затухание акустического сигнала в колонне (α_k), определяемое при стандартном АКЦ, и рассчитываемый на его основе индекс цементирования (BI) имеют следующие недостатки:

- данный параметр имеет осредненную по периметру колонны характеристику сцепления цемента с колонной;

- не выделяются дефекты цементажа раскрытостью менее 40 градусов;

- при наличии микрозазора между колонной и цементом стандартное АКЦ показывает отсутствие цемента;

- для определения секторного заполнения цементом затрубного пространства и наличия зазора между цементом и породой необходим анализ ФКД оператором.

2. Исследования на отраженных волнах (прибор АСТ) позволяют с необходимой точностью оценивать внутренний диаметр, толщину стенок обсадных колонн, наличие коррозии на внутренней и внешней стороне обсадных колонн. Недостатком метода, в силу его малой глубинности, является невозможность оценить качество цементирования по всей толщине затрубного пространства.

3. Использование комплексного прибора на отраженных и преломленных волнах (прибор АСТП) позволяет, кроме задач, перечисленных в предыдущем пункте, дополнительно оценивать качество цементирования с выделением дефектов в толще цементного камня. Дискретность получаемого результата равна 18 градусам.

4. Комплексный анализ данных стандартного АКЦ и прибора АСТП позволяет получить более однозначное заключение о техническом состоянии обсадной колонны и герметичности затрубного пространства скважины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Morris C., Sabbagh L., Wydrinski R., Hupp J., van Kuijk R., Froelich B. Application of Enhanced Ultrasonic Measurements for Cement and Casing Evaluation. Paper SPE/IADC 105648 presented at the SPE/IADC Drilling Conference. Amsterdam, February 20–22, 2007.
2. Zeroug S., Froelich B. Ultrasonic Leaky-Lamb Wave Imaging through a Highly Contrasting Layer: Presented at the IEEE Ultrasonic Symposium, 798, 2003.

Рецензент канд. техн. наук В. Н. Даниленко