

УДК 550.832.44

*А. С. Варыхалов, Д. В. Белоконь,
В. А. Пантиухин, В. В. Рыбаков
ООО "Нефтегазгеофизика"*

АКУСТИЧЕСКИЙ ТРУБНЫЙ ПРОФИЛЕМЕР-ТОЛЩИНОМЕР АТП-73

Рассматриваются вопросы разработки и применения для контроля технического состояния обсадных колонн приборов акустического каротажа на отраженных волнах, позволяющих измерять внутренний диаметр и толщину колонны. С помощью приборов можно определить первоначальный этап коррозии и где происходит коррозия — изнутри или снаружи колонны. Описан высокочастотный (450 кГц) акустический трубный профилемер-толщиномер. Испытания в Нижневартовске и Сургуте показали возможность определения в сканирующем режиме внутреннего радиуса и толщины обсадных колонн.

В России сегодня имеется огромный парк старых скважин, для которых контроль их технического состояния является актуальной задачей. Эта проблема решается различными методами: радиоактивным, электромагнитным, акустическим. Радиоактивный и электромагнитный методы дают усредненную информацию о толщине колонны и удобны для определения равномерной и широко распространенной коррозии, сквозных отверстий и трещин, погрешность измерения толщины колонны $\pm 0,5$ мм. Механические профилемеры предназначены для измерения профиля поперечного сечения колонны и выявления локальных деформаций колонны. Приборы акустического каротажа на отраженных волнах обеспечивают одновременное измерение внутренних радиусов колонны и ее толщины.

Приборы высокочастотного акустического каротажа имеют многие зарубежные геофизические фирмы.

Прибор CET (Cement Evaluation Tool) [1] фирмы Schlumberger обеспечивает оценку сцепления цементного камня с колонной, измерение толщины и внутренних радиусов обсадной колонны в восьми секторах. Резонансная частота преобразователей – 500 кГц.

Прибор DUST (Digital Ultrasonic Scanning Tool) [2] фирмы Arco Oil & Gas Company – цифровой акустический телевизор. Измеряет

толщину колонны и ее внутренний радиус. Резонансная частота преобразователя – 2 МГц.

Ультразвуковой толщиномер UTT [3] компании Sondex содержит шесть ультразвуковых преобразователей, смонтированных в прижимных башмаках. Резонансная частота преобразователей – 2 МГц.

Список можно продолжить. Высокочастотные преобразователи обеспечивают лучшее разрешение по размерам определяемого дефекта, но высокочастотный сигнал имеет большее затухание в скважинной жидкости. Точность всех приборов при определении радиусов и толщины примерно одинакова и составляет $\pm (0,1\text{--}0,2)$ мм.

Разработки приборов акустического каротажа на отраженных волнах ведутся также и в России.

Аппаратура АРКЦ и САТ-4 производства НПФ “Геофизика” предназначена для контроля качества цементирования обсадной колонны и исследований внутренней поверхности обсаженных и необсаженных скважин [4, 5].

В ООО “Нефтегазгеофизика” разработан и внедрен в производство акустический толщиномер-профилемер АТП-73, аналогичный аппаратуре СЕТ фирмы Schlumberger.

Акустический толщиномер-профилемер АТП-73 содержит электронный блок, измерительный зонд и два центратора. Зонд включает восемь измерительных электроакустических преобразователей, расположенных вдоль образующей зонда прибора со сдвигом 45°, и один опорный, установленный вдоль продольной оси прибора. Резонансная частота преобразователей – 450 кГц. Преобразователи работают в совмещенном режиме, то есть служат как для излучения, так и для приема ультразвукового сигнала. Прибор снабжен блоком акселерометров, измеряющих зенитный угол и угол поворота прибора вокруг продольной оси.

Работа прибора основана на возбуждении преобразователями акустических импульсов и приеме отраженных волновых пакетов, по характеристикам которых вычисляются диаметр и толщина стенки обсадной трубы. Характерная форма отраженного сигнала изображена на рис. 1. Принятые сигналы оцифровываются АЦП непосредственно в приборе с разрешением 12 бит и шагом 200 нс и передаются в наземный регистрирующий комплекс с использованием быстрого канала передачи данных (скорость передачи – 200 Кбод) (см. табл.).

Для измерения радиусов по зарегистрированным волновым пакетам определяются времена прихода отраженного сигнала по макси-

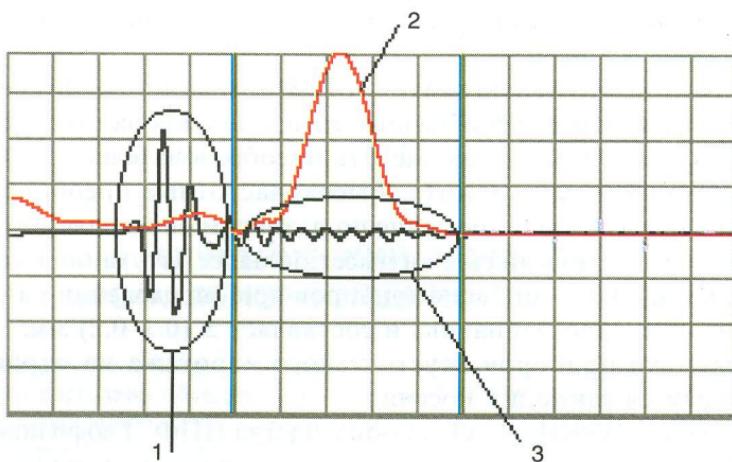


Рис. 1. Характерная форма отраженного сигнала:

1 – импульс, отраженный от внутренней поверхности колонны; 2 – спектр сигнала реверберации; 3 – сигнал реверберации колонны

Таблица
Технические характеристики прибора

Резонансная частота пьезоэлектрических преобразователей, кГц	$450 \pm 15\%$
Диапазон измерений, мм	
диаметра	110–240
толщины	5–10
Погрешность измерений, мм	
диаметра	$\pm 0,2$
толщины	$\pm 0,2$
Напряжение питающего тока частотой 50 Гц, В	220
Потребляемая мощность, Вт	не более 3
Диапазон рабочих температур, °С	от -40 до +120
Максимальное гидростатическое давление, МПа	80
Максимальный диаметр без центраторов, мм	80
Масса, кг, не более	80
Длина, мм, не более	3100

муму амплитуды первого положительного вступления. Значения этих времен при известной скорости звука, измеренной опорным преобразователем, пересчитываются в расстояния. Измеренные расстояния

от преобразователя до стенки колонны корректируются на эксцентрикитет и диаметр прибора. Толщина колонны рассчитывается по спектру сигнала реверберации (рис. 1) с допущением постоянства скорости звука в стали, поскольку основная частота реверберации стенки колонны обратно пропорциональна ее толщине. Полоса пропускания преобразователя 300–600 кГц соответствует диапазону частот реверберации колонны толщиной от 5 до 10 мм. Значительная шероховатость может влиять на качество вычисления толщины, что является не недостатком прибора, а ограничением метода. В случае если в спектре сигнала наблюдается несколько максимумов, для вычисления толщины колонны выбирается тот, которому соответствует значение толщины, наиболее близкое к номиналу. Внешние размеры колонны вычисляются путем сложения соответствующих внутренних радиусов и толщин. Таким образом, аппаратура позволяет определять наличие внутренней и внешней коррозии колонны.

По ослаблению амплитуды отраженного импульса могут быть выявлены дефекты колонны размером менее пятна ультразвукового пучка, падающего на стенку, равного, примерно, 20 мм.

Для обеспечения необходимой точности измерений внутренних радиусов разработана методика калибровки и проверки метрологических характеристик, которая включает:

- измерение и контроль расстояний от поверхности зонда до излучающей поверхности преобразователей;
- измерение радиусов на калибровочных устройствах;
- контрольные измерения в трубах известного диаметра и заданной толщины.

Аппаратура АТП-73 была испытана в Нижневартовске и Сургуте.

На рис. 2 показан пример измерения толщины. В первой колонке изображены значения толщины, внешнего и внутреннего диаметров колонны. Следующая колонка – глубина. Четыре колонки с цветной кодировкой представляют развертки колонны, слева направо: амплитуды отраженных акустических импульсов, средние значения внутреннего радиуса, толщины и внешнего радиуса, как суммы внутреннего радиуса и толщины. Заметим, что качество изготовления труб, применяемых в обсадной колонне, различно. Особенности изготовления труб четко проявляются на приведенном рисунке. Заметна периодичность 0,8 м в интервале 2170–2175 м и 0,45 м в интервале 2167–2170 м отклонения от номинала внутреннего радиуса до 0,4 мм и

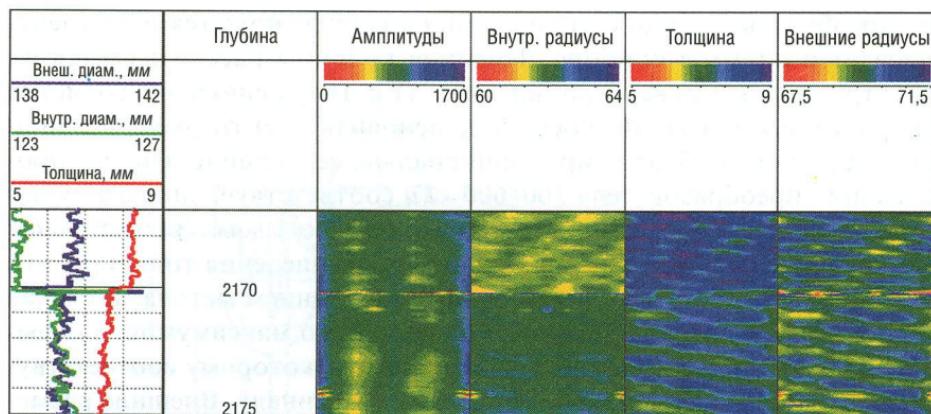


Рис. 2. Определение толщины обсадной колонны

толщины до 1,0 мм. В интервале 2167–2170 м номинальный внутренний диаметр составляет 123,3 мм, толщина – 8,2 мм, в интервале 2170–2175 м – 124,3 и 7,56 мм соответственно.

Встречаются сборки колонн, в которых внутренние радиусы и толщина остаются неизменными в пределах точности метода измерений.

Наличие двух желтых вертикальных полос на амплитудной развертке связано с небольшой расцентровкой прибора.

На рис. 3 изображена диаграмма, демонстрирующая внутреннюю коррозию колонны. В интервале 3074–3078 в секторе седьмого преобразователя отмечается локальное увеличение внутреннего радиуса (синяя область на развертке) с одновременным уменьшением толщины (красная область), что характеризует внутреннюю коррозию. По кривым в первом треке видно, что в этом интервале радиус увеличился, примерно, на 1,5 мм, а толщина уменьшилась на 1,3 мм, при этом наружный радиус в пределах погрешности измерений не изменился. Здесь же вследствие рассеяния наблюдается также ослабление амплитуды отраженных сигналов (красный цвет на развертке).

Ниже выделяется еще несколько участков с незначительным изменением внутреннего радиуса и толщины, но заметным ослаблением амплитуды отраженного сигнала. Можно предположить, что это связано с начинаящейся коррозией.

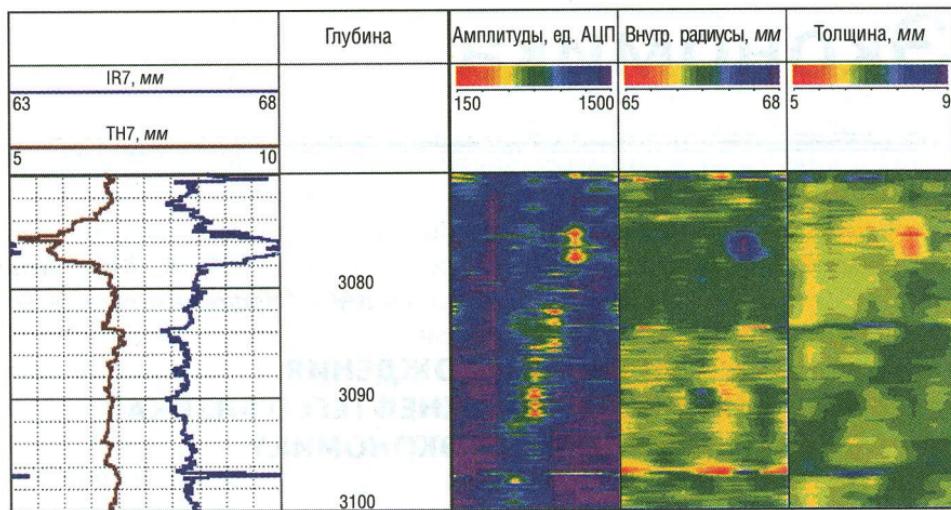


Рис. 3. Внутренняя коррозия колонны

Накопленный в настоящее время скважинный материал позволяет вести работы, направленные на дальнейшее совершенствование прибора в следующих направлениях:

1. Расчет характеристик обсадной колонны (амплитуды, радиуса, толщины) непосредственно в скважинном приборе.
2. Разработка алгоритмов оценки качества цементирования.

Авторы выражают благодарность Базину В. В. за помощь в разработке алгоритмов по оценке толщины колонны и Кочергинскому Б. М. за активную помощь в организации проведения испытаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Havira. R.M. Ultrasonic cement bond evaluation. SPWLA 23-th Symposium. 1982.
2. Katahara K. W., a. o. Detection of external pipe defects with modified borehole televiever: SPWLA 29-th Symposium. 1988
3. Дж. Басс. Руководство по ультразвуковому толщиномеру UTT01. Sondex Ltd.
4. Стрелков В. И., Загидуллин Р. В., Сулейманов М. А. Скважинный акустический телевизор САТ. НТВ “Каротажник”. Тверь: Изд. АИС. 2001. Вып. 83.
5. Мантров А. В., Стрелков В. И. Ультразвуковая толщинометрия обсадной колонны. НТВ “Каротажник”. Тверь: Изд. АИС. 2003. Вып. 111–112.