

С научно-практического семинара
**“Новые сейсмоакустические технологии исследования
нефтегазовых скважин”**
(24 - 29 ноября 1997 г.)

В. Ф. Козяр, Н. А. Смирнов, Д. В. Белоконь, Н. В. Козяр
ОАО НПЦ “Тверьгеофизика”, ВНПФ “ГеоГЕРС”

**ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ УПРУГИХ ВОЛН
ЗОНДАМИ С МОНОПОЛЬНЫМИ И ДИПОЛЬНЫМИ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ**
(РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ)

Введение

В нефтегазовой геологии и геофизике существует ряд задач, корректное решение которых достигается при знании параметров основных информативных волн, распространяющихся в горных породах, обсадной колонне и скважинной жидкости, - продольной P , поперечной S , Лэмба L , Стоунли St . В первую очередь, это определение модулей упругости горных пород, параметров бурения и гидроизрывов пластов в бурящихся скважинах и скважинах старого фонда [1, 10], выделение проницаемых интервалов в сложно построенных, в том числе сильно глинистых либо плотных трещиноватых породах [10, 14, 15], определение насыщенности коллекторов, заводняемых пресными водами [3, 12], расчет или уточнение подсчетных параметров (эффективных толщин, коэффициентов пористости и нефтегазонасыщенности, положений межфлюидных контактов) [7], оценка технического состояния обсаженных скважин и выделение интервалов напряженного состояния пород и потенциального нарушения обсадных колонн [1, 14], расчет синтетических сейсмограмм, выделение отражающих границ при обработке данных сейсморазведки и вертикального сейсмопрофилирования.

Эпизодически перечисленные задачи решались и ранее с использованием материалов широкополосного акустического каротажа, зарегистрированных в аналоговом виде [4, 9]. Положительные результаты получались при стечении ряда благоприятных условий: значения скоростей v_p продольной и v_s поперечной волн превышают скорость $v_{ж}$ упругой волны в жидкости, разрез представлен одно-

родными пластами, толщины которых заведомо превышают длины измерительных зондов, а в обсаженных скважинах также при хорошем сцеплении цементного камня с колонной и стенкой скважины. В менее благоприятных условиях результаты определений были неубедительными. Основные трудности заключались в невозможности выделения в акустических сигналах идентичных фаз S и St волн, а в обсаженных скважинах и P волны, вступающих на фоне интенсивных колебаний более высокоскоростных волн-помех (соответственно P и S волны и волны по колонне в обсаженной скважине). Чаще всего выделение и определение скоростей распространения, амплитуд и затуханий S и St волн, интерферирующих с более высокоскоростными волнами, достигались в небольших по протяженности интервалах на границах пластов с контрастными значениями скоростей P и S волн.

Качество измерений повысилось при использовании цифровой регистрации первичных данных акустического каротажа (АК). Выделились два принципиально разных подхода к определению параметров упругих волн. Один из них заключается в применении скважинных приборов с антенной из 4 - 16 приемников, расположенных на базе 1 - 4 м при длинах измерительных зондов от 1,5 до 12 м. Такими приборами обладают все ведущие геофизические фирмы [1, 8, 10, 16, 17 и др.]. Применение длинных измерительных зондов способствует разделению в волновых пакетах колебаний P , S и St волн, а статистическая обработка волновых пакетов от многих приемников в координатах "скорость волны - время вступления" позволяет находить искомые значения скоростей волн. Так как при реально достижимых длинах зондов полное разделение волн разных типов не происходит, то значения параметров (скоростей распространения v , амплитуд A , эффективного затухания α) всех волн, кроме вступающей первой, находят с некоторыми неконтролируемыми погрешностями. Они минимальны при измерении скоростей волн и максимальны для A , α . Ни одна фирма не рекламирует определение A , α и скорости распространения v_{St} волны Стоунли с помощью таких приборов. Кроме того, в низкоскоростных разрезах, в которых $v_s < v_{ж}$, невозможно измерить параметры поперечной волны, так как при использовании монопольных преобразователей в этих условиях не образуется головная поперечная волна. Последний недостаток ведущие фирмы [11, 16, 17] устраниют размещением в том же скважин-

ном приборе еще одной антенны, составленной из дипольных преобразователей и предназначеннной для возбуждения и регистрации колебаний поперечной волны.

Второй подход основан на применении коротких измерительных зондов со стандартной конфигурацией электроакустических преобразователей, частотные спектры и характеристики направленности которых благоприятны для возбуждения в скважине и горных породах упругих волн преимущественно какого-то одного типа [1]. Для исследований обсаженных скважин, а также регистрации колебаний поперечной волны в открытом стволе монопольные преобразователи возбуждают на пониженной частоте 8 - 12 кГц. Однако уверенная регистрация S волны в большей части разреза, в том числе в низкоскоростных породах, в которых $v_s < v_{\text{ж}}$, также достигается с помощью дипольных преобразователей.

Несмотря на состоявшееся распространение измерительных зондов АК с монопольными и дипольными электроакустическими преобразователями, остается ряд вопросов, без решения которых невозможно широкое применение полученных материалов. Основные из них: обоснованный выбор частот монопольных и дипольных преобразователей для возбуждения в скважинной геометрии основных информативных волн - продольной, поперечной и Стоунли; выяснение природы (типов) волн, возбуждаемых дипольными излучателями в различных средах; определение круга геологических и технических задач, решаемых приборами АК с двумя типами преобразователей.

Аппаратурное обеспечение (скважинный прибор)

Скважинный прибор АВАК-7 является дальнейшим развитием прибора АВАК-5 [1], в котором дополнительно размещен трехэлементный (один излучатель ИД, два приемника ПД₁ и ПД₂) измерительный зонд с дипольными электроакустическими преобразователями (рис. 1). Дипольный излучатель установлен между кольцевым ИМ₁ и поршневым ИМ₂ монопольными излучателями в нижней части прибора. Дипольные приемники расположены рядом с монопольными приемниками ПМ₁ и ПМ₂ таким образом, чтобы измерительные базы всех зондов были равны 0,5 м; Дипольные преобразователи выполнены из пьезокерамики, их конструкция аналогична описанной в работе [18]. Дипольный излучатель представляет собой

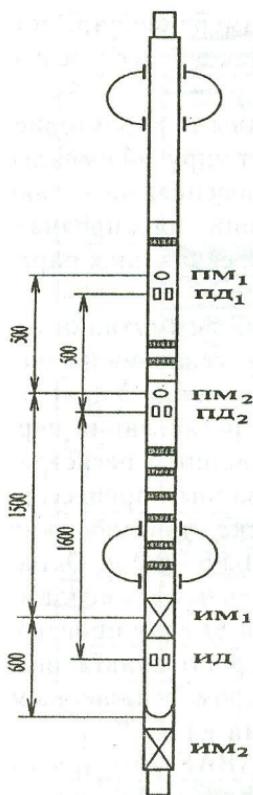


Рис. 1. Схема измерительного зонда прибора АВАК-7

- ПМ₁ ПМ₂ ИМ₁ - трехэлементный зонд широкополосного АК; основная частота собственных колебаний излучателя 20 (или 12) кГц, приемников - 50 кГц; характеристики направленности преобразователей симметричны и близки к сферическим. Зонд предназначен преимущественно для измерений параметров продольной волны в открытых скважинах и для акустической цементометрии;
- ПМ₁ ПМ₂ ИМ₂; возбуждение излучателя на частоте 8 кГц; характеристика направленности излучателя симметрична и благоприятна для образования головной поперечной волны - зонд для исследований разрезов через обсадную колонну и регистрации параметров Р и S волн в открытых и обсаженных скважинах;

источник деформации типа направленной силы и возбуждается в импульсном режиме на основной частоте 4,0 кГц, создавая в скважинной жидкости противофазные по отношению к преобразователю колебания. На исследовательском этапе применялись также дипольные излучатели с основной частотой 6 и 10 кГц.

Основная частота f_0 собственных колебаний дипольного излучателя выбрана, исходя из двух условий. Первое: длина волны в скважинной жидкости должна быть больше диаметра скважины ($d_c = 191 - 295$ мм), чтобы исключить сложную суперпозицию нормальных волн, то есть: $v_{ж}/f_0 > d_c$. Второе: для сохранения точности измерений, достигнутой с монопольными преобразователями, длина возбуждаемой в породе поперечной волны должна быть меньше длины s измерительной базы: $v_s/f_0 < s$. Если s выбрать равной 0,5 м, то, объединив оба условия, получим:

$$3 \text{ кГц} < f_0 < 8 \text{ кГц}.$$

Измерительный зонд скважинного прибора АВАК-7 (рис. 1) содержит 4 измерительных установки, работающие одновременно в процессе одной спускоподъемной операции и имеющие четко очерченное функциональное назначение:

- ПМ₁ ПМ₂ ИМ₂; частота излучателя 2,5 кГц - измерение параметров волны Стоунли, свободной от интерференции с более высокоскоростными волнами;
- ПД₁ ПД₂ ИД; преобразователи с несимметричными характеристиками направленности; излучатель возбуждает упругий импульс направленной силы, способствующий возникновению на стенке скважины преимущественно сдвиговых колебаний. Зонд предназначен для измерений в открытых и обсаженных скважинах параметров поперечной волны.

Электронный блок прибора выполняет функции коммутации измерительных установок, возбуждения излучателей, усиления и передачи на дневную поверхность полных волновых пакетов. Управление работой скважинного прибора, оцифровка и регистрация первичных данных осуществляются компьютеризированным регистратором КАРАТ-П либо упрощенным специализированным процессорным пультом. Дискретность оцифровки - 1 - 2 мкс, динамический диапазон - 40 дБ, шаг исследований по глубине - 0,05 - 0,2 м. Обработка первичных данных с определением интервальных времен, амплитуд, эффективного затухания и частот P , L , S и St волн производится с помощью регистратора КАРАТ-П, процессорного пульта либо в лабораторных условиях персональным компьютером, оснащенным процессором 486 (386). Алгоритм обработки описан в [1].

Основными отличиями скважинного прибора АВАК-7 от других отечественных приборов волнового АК (АКВ, АКШ, МАК, АКМ) являются раздельное возбуждение и регистрация волн различных типов. Использование электроакустических преобразователей, обеспечивающих преимущественное возбуждение только одной из информативных волн (P , S , St), позволяет получать волновые пакеты продольной, поперечной и Стоунли волн, не искаженные интерференцией с более высокоскоростными волнами, распространяющимися в породах и обсадной колонне. Амплитуды регистрируемой волны многократно превосходят уровень амплитуд ранее вступающих волн-помех и акустических шумов.

Возможности скважинного прибора АВАК-7 иллюстрирует рис. 2. В обсаженной скважине условия регистрации P и S волн, распространяющихся в горных породах, оптимальны при частоте собственных колебаний монопольного излучателя, равной 8 кГц, на которой волновые сигналы становятся наиболее разрешенными (рис. 2, б).

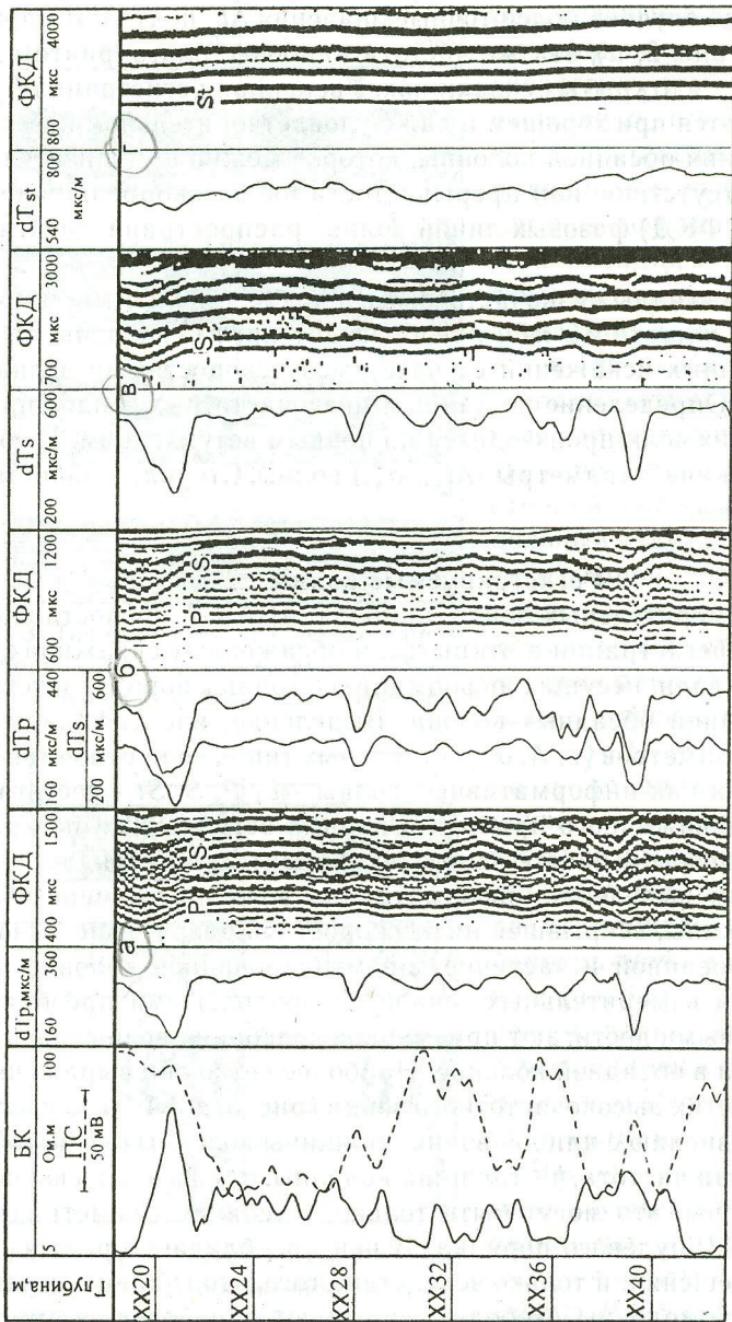


Рис. 2. Фрагменты твердых копий материалов АВАК-7:
а, б - для зондов с монопольными преобразователями на частотах 20, 8 и 2,5 кГц; г - для зонда с дипольными преобразователями

Однако в ряде случаев более точные значения Δt_p получают на частоте 20 кГц (рис. 2, а); эта же частота наиболее благоприятна для измерений Δt_p в открытых скважинах. Уверенная регистрация Р и S волн достигается при хорошем и даже удовлетворительном качестве цементирования обсадной колонны, которое можно приблизительно оценить по отсутствию или прерывистости на фазокорреляционных диаграммах (ФКД) фазовых линий волны, распространяющейся по колонне.

Волновые сигналы низкочастотных зондов (с дипольными и монопольными на частоте 2,5 кГц преобразователями) свободны от интерференционных искажений с более высокоскоростными волнами (рис. 2, в, г). Определение по данным низкочастотных зондов параметров упругих волн производится по первым вступлениям. В обсаженной скважине параметры (Δt_{St} , α_{St}) волны Стоунли слабо дифференцированы.

Регистрируемые волны

Четыре измерительных зонда прибора АВАК-7 предоставляют возможность регистрации в открытых и обсаженных скважинах основных типов волн, несущих информацию о горных породах и техническом состоянии обсадных колонн. Выделение, идентификация и измерение параметров (v , A , α , f) отдельных типов волн существенно упрощены, так как информативные волны - L, P, S, St - достигают приемников скважинного прибора в первых вступлениях, по крайней мере, в волновом пакете одного из измерительных зондов.

Рассмотрим выделение информативных волн на примере обсаженной скважины, вскрывшей низкоскоростной разрез (рис. 3, 4). В незацементированной и частично зацементированной колонне при использовании измерительных зондов с монопольными преобразователями первыми достигают приемников колебания волны, распространяющейся в обсадной колонне. Наиболее четко они выражены в волновых пакетах высокочастотного зонда (рис. 3, а и 4, а). С учетом малой, по сравнению с длиной волны, толщины колонны ($\omega h/v_s \ll 1$, где ω - круговая частота, h - толщина колонны, v_s - фазовая скорость сдвиговой волны) это могут быть только колебания симметричной волны Лэмба L нулевого порядка. В ней преобладает продольный компонент смещения, и только вследствие того, что границы незацементированной колонны свободны, появляются небольшие смеще-

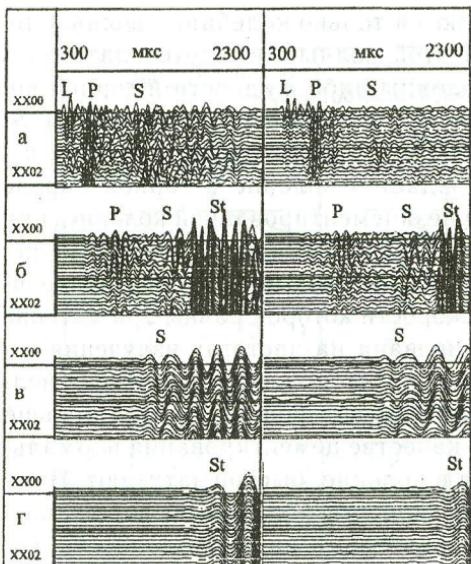


Рис. 3. Тип волн, регистрируемых зондом прибора АВАК-7 в обсаженной скважине (регистрация в форме волновых пакетов)

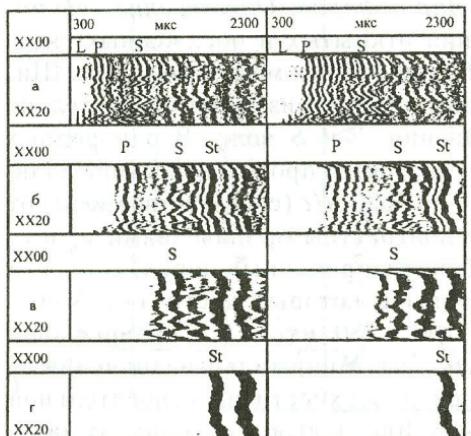


Рис. 4. Тип волн, регистрируемых зондом прибора АВАК-7 в обсаженной скважине (регистрация в форме ФКД)

ния, которые в $v_s/\omega h$ раз меньше продольного [2]. Фазовая скорость v_L этой волны меньше скорости v_p продольной волны в неограниченном массиве и равна $v_L = v_p \cdot \sqrt{(1 - 2v)/(1 - v)^2}$, где v - коэффициент Пуассона. Для обсадных колонн отечественного и зарубежного производства $v_L = 5390 \text{ м/с}$ или $\Delta t_L = 185 \text{ мкс/м}$.

Если затрубное пространство заполнено цементом, жестко сцепленным с колонной и стенкой скважины, то монопольный излучатель возбуждает в горной породе головные продольную P и поперечную S волны со скоростями, значения которых равны скоростям этих волн в массиве (рис. 3, а, б и 4, а, б). Выделение этих волн на фоне волны по колонне улучшается с понижением частоты исследований до 8 - 10 кГц (рис. 3, б и 4, б), когда колонна становится максимально "прозрачной" [4]. Последующие колебания головной поперечной волны осложнены интерференцией с поверхностными псевдо-Рэлеевскими и Стоунли волнами.

Частота излучения 2,5 кГц, используемая в одном из измерительных зондов, находится ниже "частоты среза" для головных P и S волн [4]. В регис-

трируемом волновом пакете остаются только колебания волны Стоунли (рис. 3, г и 4, г). Энергия этой волны сосредоточена в двух граничных слоях (жидкости и колонны либо жидкости и горной породы) толщиной менее длины волны. Фазовые скорости волны S_I меньше скоростей упругих волн (v_p и v_s) в обеих средах, т. е. $v_{S_I} < v_{\text{ж}}$.

Дипольный излучатель возбуждает в колонне и горной породе сдвиговые колебания. При этом в незацементированной колонне (при условии, что $2h/\lambda_s < 1/2$, где h - толщина колонны, λ_s - длина поперечной волны) распространяется только одна нормальная поперечная волна, фазовая и групповая скорости которой равны v_s в массиве ($\Delta t = 310 \text{ мкс/м}$). Она зарегистрирована на частотах излучения 6 - 10 кГц. В последнем случае регистрируется также продольная волна Лэмба ($\Delta t_L = 185 \text{ мкс/м}$), амплитуды которой на порядок меньше амплитуд S волны. При хорошем качестве цементирования нормальные волны, распространяющиеся в колонне, быстро затухают. В открытой и обсаженной скважинах скорости поперечной волны, возбуждаемой дипольными преобразователями на частоте 4,0 кГц, совпадают с точностью до погрешности измерений со скоростью v_s волны, возбуждаемой монопольными преобразователями (рис. 5).

Решаемые задачи

Диапазоны регистрируемых параметров. Обеспечение сейсморазведочных работ. Исследования открытых и обсаженных скважин приборами АВАК-7 ведутся на нефтяных месторождениях Широтного Приобья, разрезы которых характеризуются относительно низкими скоростями распространения P и S волн. В однородных терригенных разрезах значения v_p скоростей продольной волны плавно изменяются с глубиной от 1520 до 4600 м/с (соответственно Δt_p от 660 до 220 мкс/м). На этом фоне контрастными значениями v_p и v_s выделяются только пласти карбонатизированных пород, скорости распространения продольной волны в которых достигают 5500 - 6200 м/с (соответственно, $\Delta t_p = 160 - 180 \text{ мкс/м}$), а поперечной - 2950 - 3700 м/с ($\Delta t_s = 270 - 350 \text{ мкс/м}$). Минимальные значения v_p зарегистрированы вблизи дневной поверхности на относительной глубине 30 м, а также на глубинах 400 - 600 м в интервалах залегания люленворских глин.

Минимальные значения v_s зарегистрированы в битуминозных аргиллитах баженовской свиты. Они равны 1100 м/с ($\Delta t_s = 900 \text{ мкс/м}$).

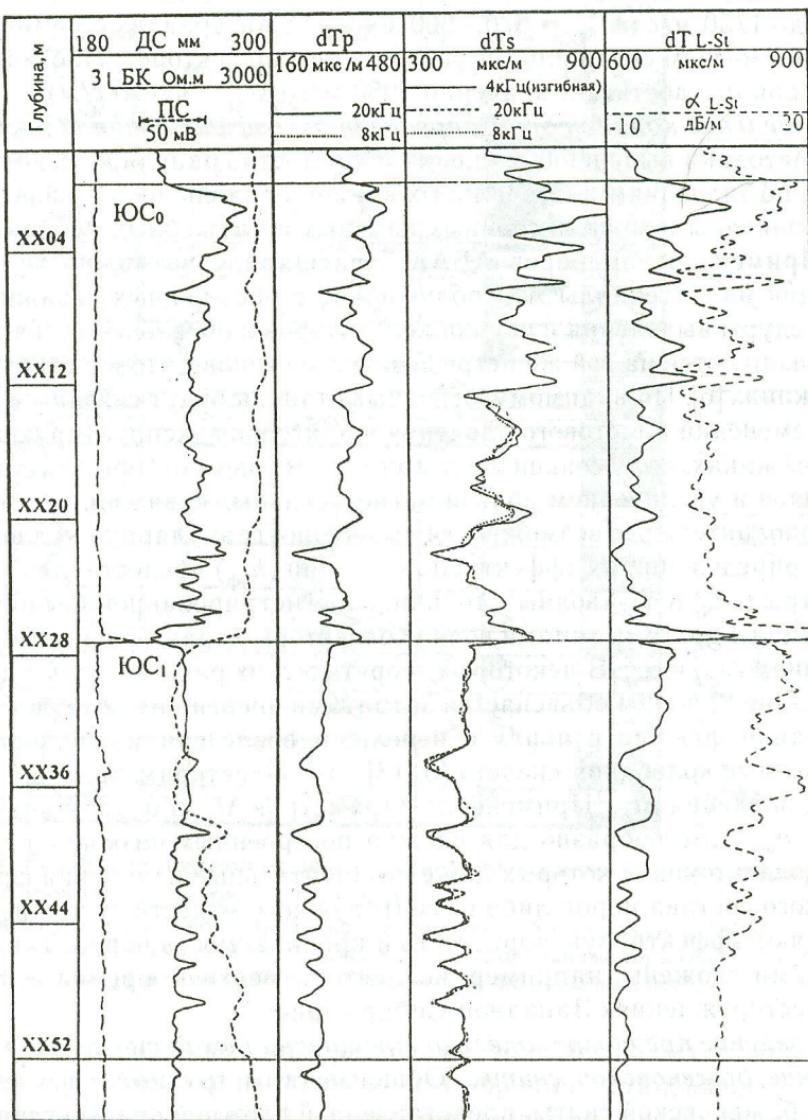


Рис. 5. Сопоставление интервальных времен продольной и поперечной волн, зарегистрированных на разных частотах, в том числе с помощью дипольных преобразователей

В открытых скважинах скорость волны Стоунли изменяется от 1520 до 1750 м/с ($\Delta t_{St} = 570 - 660 \text{ мкс/м}$) в интервалах с номинальным диаметром скважины, не содержащих коллекторов. Против коллекторов v_{St} достигает значений 1050 м/с ($\Delta t_{St} = 950 \text{ мкс/м}$).

Выделение коллекторов, определение коэффициента пористости. Методики выделения и оценки пористости гранулярных коллекторов по значениям интервальных времен продольной и поперечной волн описаны в многочисленных научных и служебных публикациях. Применение приборов АВАК-7 расширило возможности этих методик на материалы АК, получаемые в обсаженных скважинах. Процедуры выделения и оценки коллекторов в обсаженных скважинах базируются на той же петрофизической основе, что и в открытых скважинах [6]. По-видимому, основные отличия будут связаны с учетом изменений пластового давления в длительно эксплуатирующихся скважинах: его уменьшением при интенсивном отборе пластовых флюидов и увеличением вблизи нагнетательных скважин.

Дополнительные возможности выделения гранулярных коллекторов и определения их эффективных толщин (h_{ϕ}) предоставляют параметры (Δt_{St} и α_{St}) волны Стоунли, зарегистрированной без интерференций с другими типами волн. Коллекторы характеризуются увеличением Δt_{St} и α_{St} . В некоторых теоретических работах аномальное затухание St волны объясняется затратами энергии на возбуждение колебаний флюида в порах и неполным вовлечением жидкости в поперечные колебания скелета [5, 13]. Неколлекторам присущи фоновые значения Δt_{St} . Применение параметров Δt_{St} и α_{St} для определения h_{ϕ} целесообразно для сложно построенных низкопроницаемых коллекторов, в которых даже незначительные изменения фракционного состава пород либо цементирующих веществ существенно изменяют эффективную пористость и проницаемость пород. Такими породами сложены, например, коллекторы верхней юры на нефтяных месторождениях Западной Сибири (рис. 6).

Выделение предположительно трещиноватых интервалов. Расчленение баженовской свиты. Общеизвестны трудности изучения пород баженовской свиты, представленной сложной смесью глинистых, кремнистых и карбонатных пород, пропитанных битумом. В отдельных скважинах отложения свиты обеспечивают устойчивые притоки нефти дебитом от единиц до одной-двух сотен кубических метров. В то же время из пластов соседних скважин, обладающих сход-

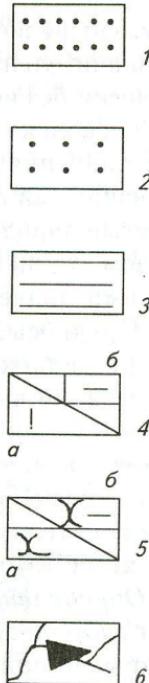
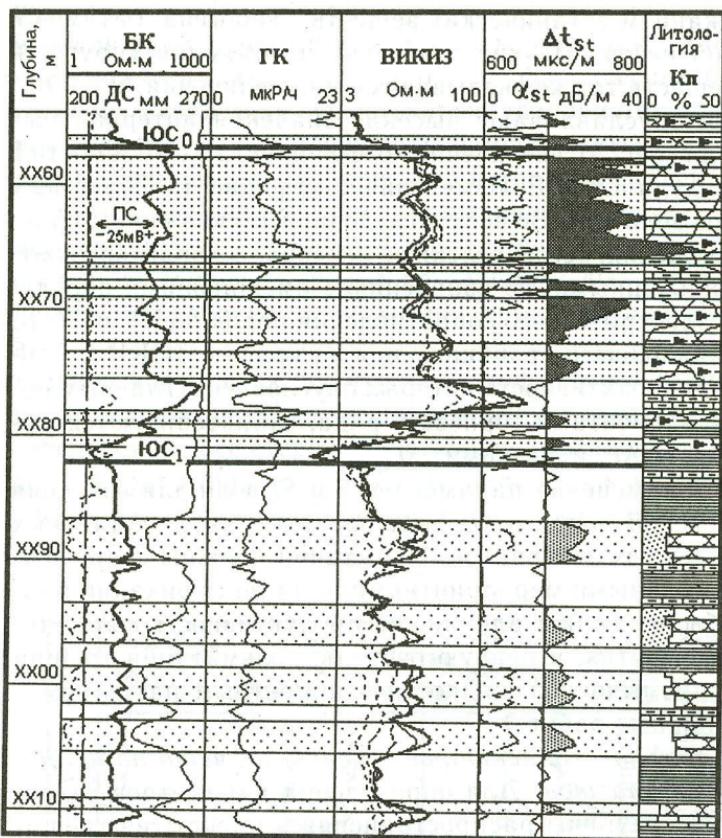


Рис. 6. Выделение предположительно трещиноватых интервалов и гранулярных коллекторов по параметрам волны Стоунли:

1 - породы предположительно трещиноватые по данным АК и комплекса ГИС; 2 - гранулярные коллекторы; 3 - аргиллит; 4 - карбонатные породы чистые (а) и глинистые (б); 5 - песчаник чистый (а) и глинистый (б); 6 - трещиновато-битуминозные породы

ными геофизическими характеристиками, притоков не получают вовсе. Устойчивые признаки нефтеотдающих пород не установлены.

Материалы волнового АК позволяют выделить в отложениях свиты интервалы предположительно трещиноватых пород, содержащих свободный флюид. Подобно гранулярным коллекторам, они обладают высокими значениями Δt_{st} и α_{st} (рис. 5, 6) и приурочены, по данным спектрального ГК, преимущественно к аргиллитам и сланцам с

высоким содержанием органических веществ - керогена, битумов и капельно-жидкой нефти. Низкие сдвиговая и объемная упругости органических веществ также сказываются на увеличении Δt_{St} и α_{St} . Кроме того, они обуславливают высокие значения интервальных времен P и S волн (рис. 5), увеличение коэффициента сжимаемости β и уменьшение модуля Юнга Е. Изменения коэффициента Пуассона ν незначительны по величине. Во всех исследованных скважинах, практически без исключения, все выделенные интервалы характеризуются несколько пониженными, по сравнению с вмещающими породами, значениями электрического сопротивления пород по БК и БМК, признаками понижающего проникновения на кривых ВИКИЗ. Глинистые породы, радиоактивность которых обусловлена, главным образом, калием и элементами ториевого ряда, характеризуются высокими значениями Δt_s и низкими Δt_{St} .

Предпосылки применения параметров S и St волн для изучения разрезов баженовской свиты могут быть раскрыты после детальных испытаний выделенных интервалов. Испытания должны сопровождаться всеми возможными мероприятиями по интенсификации притоков с тем, чтобы исключить влияние на продуктивность коллекторов условий их вскрытия, в первую очередь, кольматации трещин утяжелителями промывочной жидкости и цементным раствором в процессе тампонажных работ.

Определение свойств коллекторов с целью расчета параметров гидроразрывов пластов. Для определения параметров гидроразрывов пластов - глубины распространения и раскрытия трещины, количества пропанта и забойного давления - необходимо знание литологического состава, коллекторских свойств (пористости k_n , проницаемости k_{np}), плотности σ , коэффициента Пуассона ν и модуля Юнга Е пластов и прослоев, попадающих в объект разрыва. В скважинах старого фонда, исследованных ограниченным комплексом ГИС, основные сведения о свойствах пород получают по материалам АК через обсадную колонну. Коэффициенты ν и Е рассчитывают по известным аналитическим зависимостям с использованием измеренных скоростей P и S волн, а также значений общей плотности пород σ . Последнюю находят, исходя из минералогической плотности песчаников и аргиллитов и их пористости, рассчитанной по АК. Контролируемые параметры разрыва, установленные с применением найденных физико-механических свойств пород, совпадают с фактичес-

кими (рис. 7). Те же параметры, рассчитанные на основе усредненных для района значений упругих свойств пород и используемые до настоящего времени, отличаются от фактических в 1,3 - 2 раза. В соседних скважинах существенные различия в значениях параметров гидроразрыва обусловлены изменчивостью глинистых и уплотненных непроницаемых прослоев в пределах объекта разрыва.

Выделение интервалов напряженного состояния пород и потенциального разрушения обсадных колонн. Интервалы напряженного состояния глинистых пород на глубинах 400 - 600 м обусловлены переходом слабоуплотненных глин (естественная влажность 40 - 48%) в полужидкое текучее состояние вследствие поступления дополнительной воды через ослабленные муфтовые соединения. Этот процесс распространяется от поврежденной скважины, обычно нагнетательной, во все стороны, постепенно охватывая все скважины куста. Текущие глины изгибают частично зацементированные колонны в интервалах каверн. Колонны подвергаются при этом дополнитель-

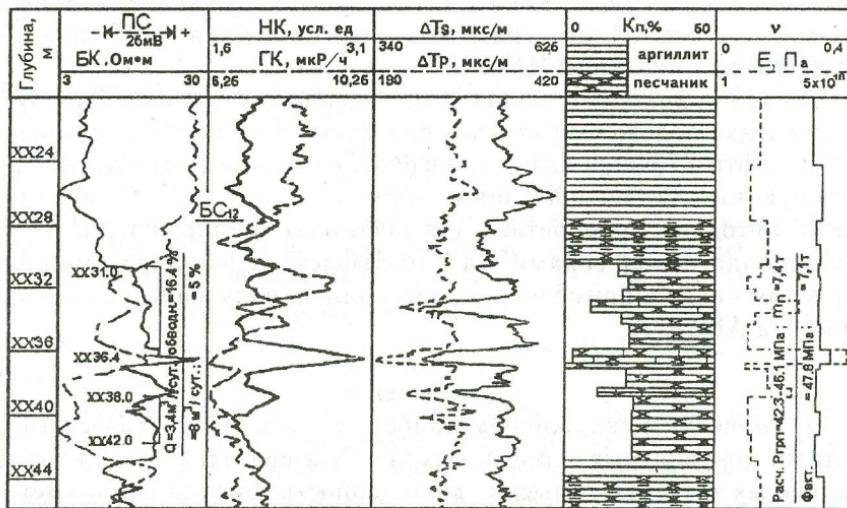


Рис. 7. Результаты определения литологических, коллекторских, физико-механических свойств пород по данным волнового АК через обсадную колонну: обозначения те же, что на рис. 6

ным растягивающим нагрузкам, вследствие чего происходят страгивание и последующий разрыв муфтовых соединений, выход колонны из муфты и ее смещение от оси скважины.

Полужидкие глины характеризуются незначительным увеличением интервального времени Δt_p продольной волны или отсутствием такого увеличения, так как его значения (560 - 620 мкс/м) в естественном залегании пород уже близки к $\Delta t_{\text{ж}}$. Затухание информативных L , P , St волн в этих интервалах аномально высокое [1]. Затухание волны (L) по колонне обусловлено обжатием колонны текучими глинами и оттоком энергии волны в породы. Затухание продольной волны (P) в породах связано с высокой дисперсностью полужидких глин. Объемная поперечная волна в таких породах не регистрируется из-за низкой сдвиговой упругости пород. Затухание St волны обусловлено деформацией обсадной колонны.

В одной из скважин обнаружено повреждение обсадной колонны на ранней стадии, когда произошло страгивание резьбы в муфтовом соединении, но колонна еще не вышла из муфты. Нарушение отмечается разрывом фазокорреляционных линий L и St волн. Степень затухания L и P волн увеличилась при последующем измерении спустя 3 месяца. Еще через 6 месяцев скважина ликвидирована из-за разрыва колонны [1].

Оценка характера текущей насыщенности коллекторов. В основу оценки положены различия сжимаемости пластовых флюидов - воды, нефти и газа - и их вклада в общую сжимаемость коллекторов, которую находят по значениям скоростей P и S волн. Особую ценность методика приобретает для нефтяных месторождений с пресными пластовыми водами. Разрабатывается специалистами ГАНГ [3], в том числе с применением материалов, полученных с помощью прибора АВАК-7.

Заключение

Применение в скважинном приборе волнового акустического каротажа монопольных и дипольных преобразователей, возбуждаемых на разных частотах, повысило достоверность измерения параметров продольной, поперечной и Стоунли волн в открытых и обсаженных скважинах. Принципиально важна регистрация скоростей поперечной волны, намного меньших скорости упругой волны в скважинной жидкости, а также параметров (скорости распространения и зату-

хания) волны Стоунли, не искаженной интерференцией с более высокоскоростными волнами.

Полученные результаты подтверждают необходимость применения волнового АК для решения геологических и инженерных задач в сложно построенных терригенных разрезах, в том числе в баженовской свите, трудно поддающейся изучению геофизическими и геологическими методами. Очевидна целесообразность опробования метода и прибора в карбонатных разрезах, прежде всего, с целью выделения и оценки трещинно-каверновых коллекторов.

Авторы признательны руководителям и специалистам ОАО "Сургутнефтегаз", благодаря вниманию и благосклонности которых получены приведенные скважинные результаты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белоконь Д. В., Козяр Н. В., Смирнов Н. А. Акустические исследования нефтегазовых скважин через обсадную колонну // НТВ "Каротажник". Тверь: ГЕРС. 1996. Вып. 29. С. 8 - 30.
2. Викторов И. А. Физические основы применения ультразвуковых волн Рэлея и Лэмба в технике. М., 1966.
3. Добрынин В. М., Городнов А. В., Черноглазов В. Н. Новая технология определения текущей нефтенасыщенности // НТВ "Каротажник". Тверь: ГЕРС. 1996. Вып. 29. С. 57 - 67.
4. Карус Е. В., Кузнецов О. Л. Акустический каротаж обсаженных скважин // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. М.: Наука. 1975. № 4. С. 22 - 34.
5. Крутин В. Н., Марков М. Г., Юматов А. Ю. Скорость и затухание волны Лэмба - Стоунли в скважине, окруженной насыщенной пористой средой // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. М.: Наука. 1987. № 9. С. 33 - 38.
6. Методические указания по обработке и интерпретации материалов акустического каротажа нефтяных и газовых скважин / В. Ф. Козяр, Д. В. Белоконь, Л. Н. Грубова и др. М.: ВНИИЯГГ. 1986.
7. Методические рекомендации по определению подсчетных параметров залежей нефти и газа по материалам геофизических исследований скважин с привлечением результатов анализов керна, опробования и испытаний продуктивных пластов; Под ред. Б. Ю. Вендельштейна, В. Ф. Козяра, Г. Г. Яценко. Калинин: НПО "Союзпромгеофизика". 1990. 261 с.
8. Мясоедов А. Ф. Метод и аппаратура микросейсмоакустического волнового каротажа // НТВ "Каротажник". Тверь: ГЕРС. 1995. Вып. 14. С. 97 - 102.

9. Кузнецов О. Л., Деев Н. Н., Сергеев Л. А., Леонтьев В. М. О возможности акустического каротажа обсаженных скважин в условиях Южного Манышлака // Нефтегазовая геология и геофизика. М.: ВНИОЭНГ. 1969. № 9. С. 42 - 45.
10. Техника каротажных исследований и интерпретации (конференция фирмы Schlumberger в Москве, 1986). Париж: изд. Шлюмберже. 1986. 326 с.
11. Atlas Wireline Services. Сервисный каталог. 1995. 153 с.
12. Condessa L. G. Hydrocarbon identification in fresh water bearing reservoirs using dynamic Poissons ratio: a case study // Trans. SPWLA, 36th Annual Logging Symposium. 1995, paper K.
13. Dominguez Hector, Perez Gustavo. Permeability estimation in naturally fractured fields by analysis of Stonely waves // Log Analyst. 1991. V. 32. N 2. P. 120 - 128.
14. Esmersoy C., Boyd A., Kane M., Denoo S. Fracture and stress evaluation using dipol-eshear anisotropy logs // Trans. SPWLA, 36th Annual Logging Symposium, June 26 - 29, 1995, paper J.
15. Motet D., Yver J. P. Combining dipole shear sonic imager and formation microscanner to evaluate fractured formation // AFM Reservoir Characterisation Review. 1992. N 4. P. 31 - 39.
16. Open hole and cased hole logging. Service catalog / Davias Great Guns Logging, Inc. CGG Logging.
17. Schlumberger Wireline Services Catalog // Houston. Texas. 1995.
18. Kitsunezaki C. Receivers & sources in suspension type shear wave logging // Butsuri-Tanco (Geophysical exploration). 1983. V. 36. N 6. P. 22 - 37.