

Аппаратура волнового акустического каротажа ВАК-8

Горбачев В.Н., Говорков М.Б., Белоусов В.Н., ОАО "Татнефтегеофизика", г. Бугульма

В современных условиях к аппаратуре акустического каротажа (АК) предъявляются повышенные требования к точности измерений.

Разработка новой цифровой многоканальной аппаратуры волнового акустического каротажа ВАК-8 (в дальнейшем аппаратура) монополярными и дипольными зондами, с регулируемой частотой возбуждения акустических волн, с автоматической регулировкой коэффициента усиления принимаемого сигнала позволила значительно повысить качество измерений. Преимущественное возбуждение одной из информативных волн, семикратное дублирование и одновременный прием сигнала по всем измерительным каналам повышает точность определяемых параметров.

Аппаратура предназначена для проведения акустических исследований в нефтяных скважинах, имеющих интервал исследований диаметра от 120 до 300 мм для открытого ствола и от 100 до 300 мм для обсаженных скважин при верхних значениях температуры окружающей среды 105°С и гидростатического давления до 60 МПа, при скорости каротажа до 800 м/ч.



На рис. 1 изображен скважинный прибор и состав, которого входит:

1) модуль излучателей, содержащий один монополярный пьезо-керамический излучатель и две пары перпендикулярно расположенных дипольных пьезо-керамических излучателей;

2) модуль приемников, состоящий из 8 монополярных приемников и 8 пар дипольных, 4 из которых находятся в плоскости I и излучатели, а 4 - в плоскости II и излучатели;

3) гибкая вставка, играющая роль звукового изолятора.

Таким образом, мы видим три измерительных зонда: монополярный и два дипольных. База зондов - 2 м.

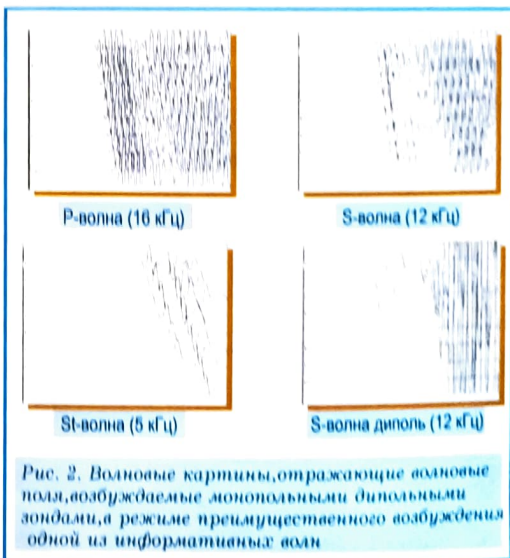
Излучатели запускаются на каждом шаге квантования глубины, равном длине измерительных зондов (0,1 м). Прием осуществляется по восьми каналам одновременно. Исследования монополярными и дипольными зондами могут проводиться как раздельно, так и совместно, за одну спуско-подъемную операцию. В результате в каждой точке исследования проводится 7 мн

кратные измерения монополярными и дипольными зондами.

Отличительной особенностью аппаратуры ВАК-8 является реализация в ней возможности преимущественного возбуждения акустических колебаний для регистрации различных типов упругих волн (продольных, поперечных и стоячих, рис. 2). Аппаратура позволяет возбуждать импульсы упругих колебаний синусоидальной формы и различной частоты задаваемых бортовым компьютером. Регистрации акустического сигнала происходит одновременно по всем 8 м каналам измерительного зонда.

Аппаратура позволяет проводить регистрацию акустического поля в исследуемой точке, как раздельно выбранными зондами за несколько спуско-подъемных операций, так и всеми зондами одновременно, (за одну спуско-подъемную операцию), в зависимости от выбранного оператором режима работы. При одновременной регистрации акустического поля монополярными и дипольными зондами с преимущественным возбуждением различных волн, скорость каротажа снижается до 160 м/ч при регистрации 5 различных режимов работы и шаге квантования по глубине равном 2 см. Это связано с привязкой к длине измерительных зондов равной 10 см.

В аппаратуре предусмотрена автоматическая регулировка усиления измерительных каналов по выбранным интервальным временам различных типов волн, исключая настройку прибора в процессе исследований.



Цифровой канал связи позволяет исключить частотные искажения, вносимые каротажным кабелем. Скорость передачи данных составляет 300 кбод.

Аппаратура состоит из скважинного прибора и наземного модуля, устанавливаемого и наземную регистрирующую станцию «Гектор». Наземный модуль осуществляет управление режимами работы скважинного прибора, принимает информацию, переданную по кабелю.

и передает ее в бортовой компьютер.

Программное обеспечение по обработке и интерпретации данных ВАК-8 состоит из двух частей:

- 1 Программы обработки исходных данных;
- 2 Модуля обработки встроенного в систему «Прайм».

Программа обработки исходных данных позволяет выполнять следующие операции:

- 1 Проводить высокочастотную и низкочастотную фильтрацию;
- 2 Определять интервальные времена распространения и затухания продольной и поперечной волн, волны Стоунли;
- 3 Определять энергию волн Стоунли;
- 4 Определять отношение энергий поперечной и продольной волн;
- 5 Контролировать визуально по годографу времен прихода информативных фаз правильность выбора одноименных фаз;
- 6 Усреднять информативные параметры на заданном интервале глубины.

В основу алгоритмов выделения информативных фаз заложен принцип определения кинематических параметров всех фаз волновых пакетов и выбор фаз, параметры которых соответствуют заданным требованиям по семи измерительным зондам. Правильность определения одноименных фаз можно определить визуально по годографу времен прихода одноименных фаз (рис. 3).

На рис. 4 приведен пример планшета с

осреднением на заданном интервале глубины. В основу алгоритмов выделения информативных фаз заложен принцип определения кинематических параметров всех фаз волновых пакетов и выбор фаз, параметры которых соответствуют заданным требованиям по семи измерительным зондам. Правильность определения одноименных фаз можно определить визуально по годографу времен прихода одноименных фаз (рис. 3).

На рис. 4 приведен пример планшета с

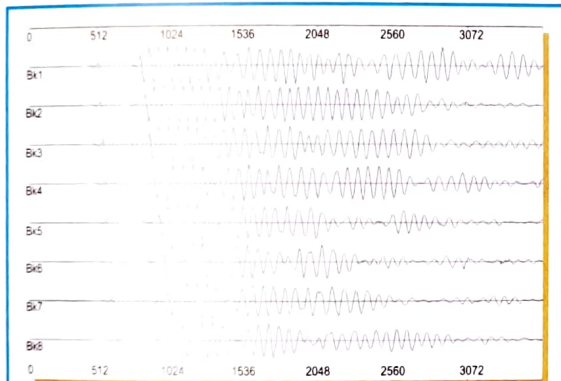


Рис. 3. Пример волновой картины с годографом времен прихода одноименных фаз.

определенными параметрами информативных волн по данным ВАК-8 в СКВ XXXX.

В связи с высокой разрешающей способностью аппаратуры ВАК-8 наблюдается сильная изрезанность кривых.

Для сопоставления данных ВАК с другими методами программное обеспечение позволяет проводить осреднение кривых на заданном интервале глубины.

На рис. 5 фрагмент планшета кинематических и динамических параметров информативных волн с осреднением на интервале 0,6 м. по скв. 536.

По результатам обработки формируются кривые:

- ΔT и α информативных волн;
- энергии волновых пакетов;
- отношение энергий поперечной и продольной волн ($\frac{E_s}{E_p}$).

Полученные данные сохраняются в файл Las-формата.

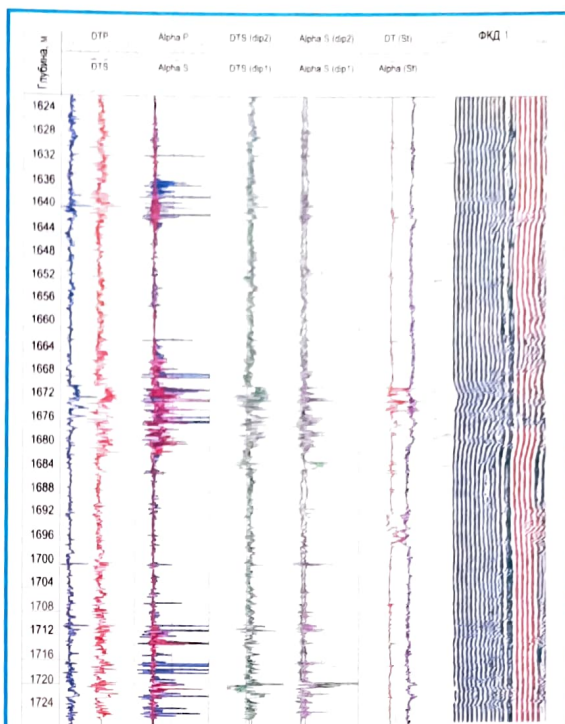


Рис. 4. Фрагмент планшета кинематических и динамических параметров информативных волн с разрешающей способностью 0,1м

Дальнейшая обработка проводится при помощи модуля, встроенного в систему «Прайм».

Этот модуль позволяет:

1. определять коэффициент пористости $K_p(\alpha k)$ по кинематическим параметрам продольной и поперечной волн;
2. выделять проницаемые интервалы, определять относительную проницаемость по кинематическим и динамическим параметрам волны Стоунли;

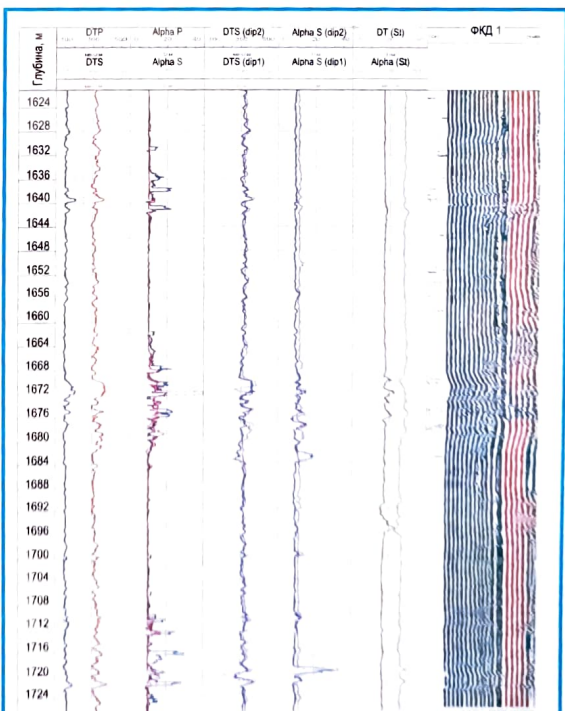


Рис. 5. Фрагмент планшета кинематических и динамических параметров информативных волн с осреднением на интервале 0,6 м

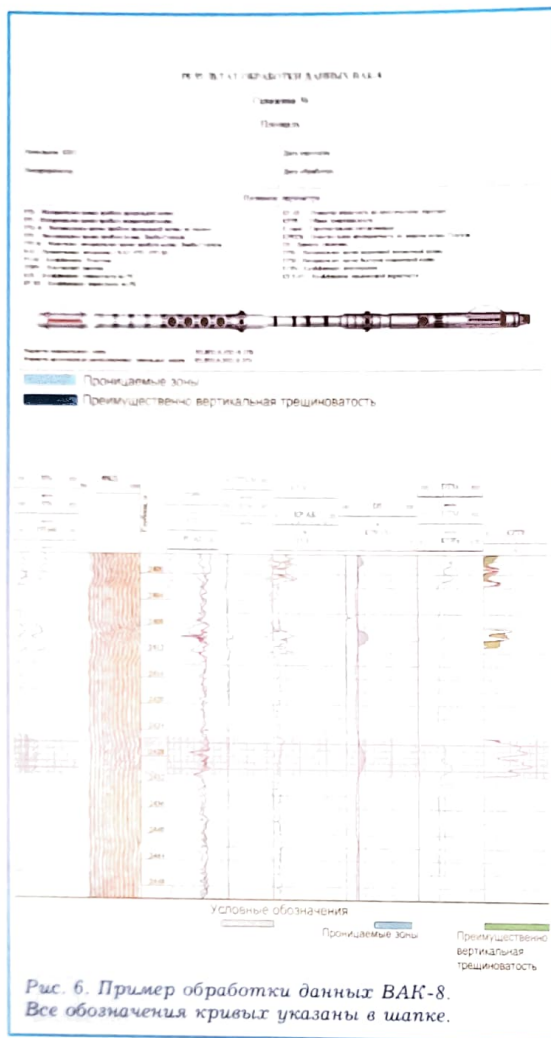
ВО ВНУТРЕННИХ ТОЧКАХ СРЕДЫ... ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

3 по кинематическим и динамическим параметрам поперечной волны, возбуждаемой монополярными и дипольными зондами, выделять интервалы с преимущественной горизонтальной и вертикальной трещиноватостью.

4 по интервальному времени распространения волны по скелету породы, осуществлять литологическое расчленение пород.

5 определять модули упругости для параметров гидроразрыва пластов.

В результате обработки формируется планшет из 9 информативных колонок (рис. 6).



Для решения ряда геологических задач необходимо знание параметров информативных волн, распространяющихся в горной породе, обсадной колонне, скважинной жидкости. Этими задачами являются — выделение проницаемых интервалов пластов, определение их относительной проницаемости, определение структуры порового пространства, преимущественного направления трещин, выделение интервалов с упорядоченным направлением вертикальных трещин, литологическое расчленение пород, определение коэффициента пористости, модулей упругости. Сложность решения этих задач в предшествующие годы заключалась в невозможности выделения в акустических сигналах идентичных фаз S, St волн, а в интервалах сильных затуханий и P волн.

В большинстве случаев выделение и определение скоростей распространения, амплитуд и

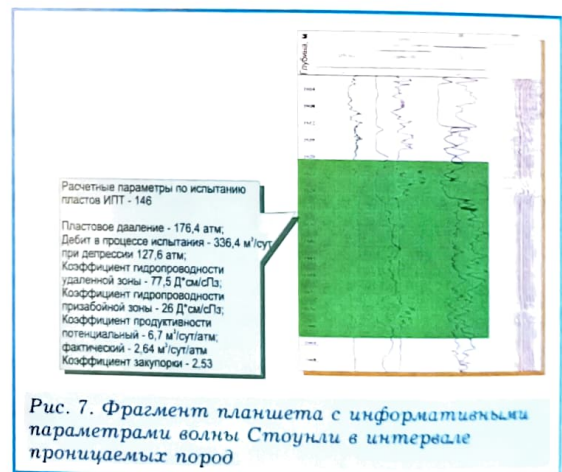
затуханий S, St волн, интерферирующих с более высокоскоростными волнами, достигалось в небольших по протяженности однородных интервалах с контрастными значениями скоростей P и S волн.

Комплекс технических и программных средств ВАК-8 позволяет решать такие геологические задачи, как выделение проницаемых коллекторов, в том числе сложнопостроенных, определение коэффициента пористости, в комплексе с данными РК коэффициента кавернозности пористости, определение интервальных времен распространения волны по скелету породы, выделение зон с преимущественным направлением трещин (субосевое, радиальное), выделение зон с акустической анизотропией по периметру скважины.

Решение этих задач, возможно при условии надежного определения параметров информативных волн.

Критерием выделения проницаемых интервалов пластов являются снижение энергии, повышенные затухание и интервальное время волны Стоунли. На Рис. 7 приведен фрагмент планшета с кинематическими и динамическими параметрами волны Стоунли, в интервале гидродинамических испытаний. В результате испытаний в выделенном интервале получен дебет в объеме 336,4 м³ воды в сутки. По данным ВАК в испытываемом интервале работают лишь подошвенная часть пласта, в этом интервале наблюдаются все характерные признаки проницаемых пластов.

Необходимо отметить, что Кпр отражает проницаемость породы на качественном уровне. Для количественных оценок необходимо получение зависимостей затухания энергии волны Стоунли от проницаемости породы, определенной прямыми методами непосредственно в скважинных условиях и разработка алгоритмов исключения



ющих влияние глинистости на динамические параметры волны Стоунли.

Проницаемый гранулярный коллектор выделяется по повышенным значениям коэффициента относительной проницаемости, равенство K_{pr} (ак) и K_{pr} (рк) и минимальным значениям коэффициентов акустической неоднородности (Рис. 8).

Для трещиноватого, проницаемого коллектора, с преимущественным радиальным направлением трещин, характерными признаками являются повышенные значения коэффициентов относительной проницаемости и радиальной

ВО ВНУТРЕННИХ ТОЧКАХ СРЕДЫ... ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

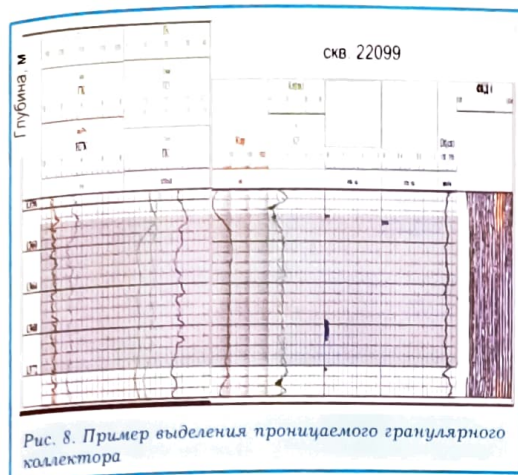


Рис. 8. Пример выделения проницаемого гранулярного коллектора

акустической неоднородности (рис. 9).

На рис. 10 приведен фрагмент планшета с данными ВАК в интервале сложно построенных

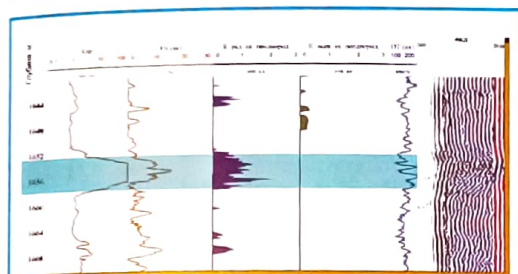


Рис. 9. Пример выделения проницаемого порово-трещинного коллектора с преимущественным горизонтальным направлением трещин.

коллекторов. Выделение интервалов с упорядоченным направлением вертикальных трещин одна из новых задач решаемых волновым акустическим каротажем. Решение этой задачи стало возможным с разработкой ортогонально расположенных дипольных зондов. Выделение зон основано на сопоставлении интервальных времен и затуханий поперечной волны, возбуждаемой дипольными зондами. В условиях отсутствия или с хаотичным направлением трещин кинематические и динамические параметры поперечной волны, возбуждаемой дипольными зондами, в пределах погрешности измерений не отличаются друг от друга. В интервалах с упорядоченным направлением вертикальных трещин расхождения между параметрами может достигать 10 – 15%, рис. 11.

Фрагменты твердых копий данных ВАК, зарегистрированных в карбонатном и терригенных разрезах приведены на рис. 12, 13.

Интервалы проницаемых коллекторов подтверждены данными испытателя пластов и данными ядерно-магнитного каротажа. Полученные результаты доказывают необходимость

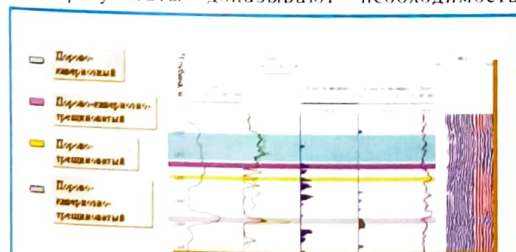


Рис. 10. Пример выделения сложно-построенного проницаемого коллектора

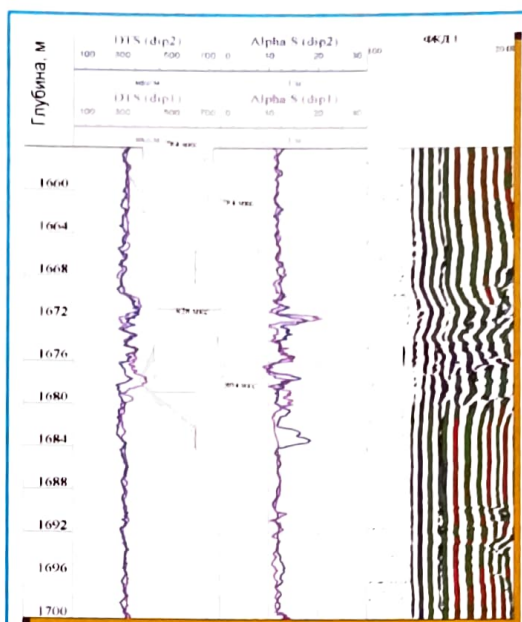


Рис. 11. Пример выделения интервала пород с акустической анизотропией по периметру скважины

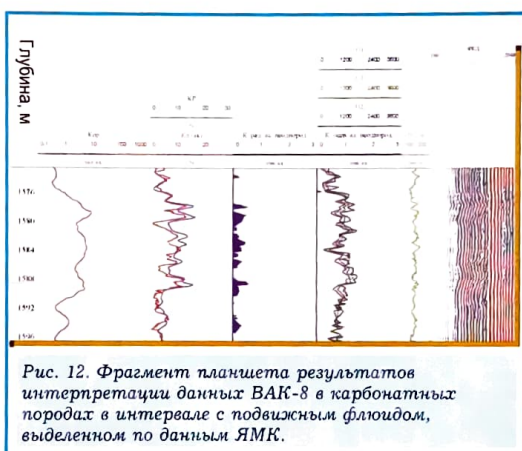


Рис. 12. Фрагмент планшета результатов интерпретации данных ВАК-8 в карбонатных породах в интервале с подвижным флюидом, выделенном по данным ЯМК.

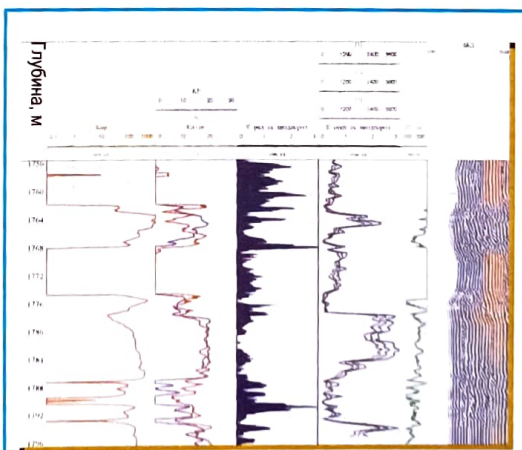
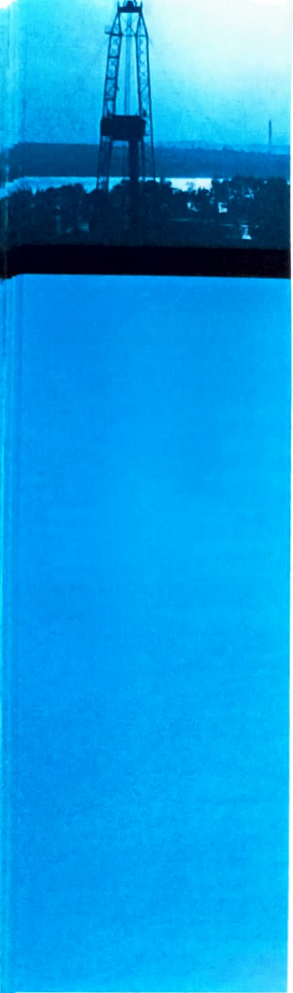


Рис. 13. Фрагмент планшета результатов интерпретации данных ВАК-8 в терригенных породах в проницаемых интервалах, выделенных по данным ЯМК.



применения волнового АК для решения геологических и инженерных задач в сложно построенных карбонатных и терригенных разрезах. На рис. 14, 15 приведены примеры выделения интервалов открытых трещин с преимущественным направлением, подтверждающие результаты сканирующей акустической аппаратурой САТ-4.

Технические и программные средства многоцелевого волнового акустического каротажа ВАК-8 позволяют в комплексе с другими методами ГИС повысить надёжность решения геологических задач.

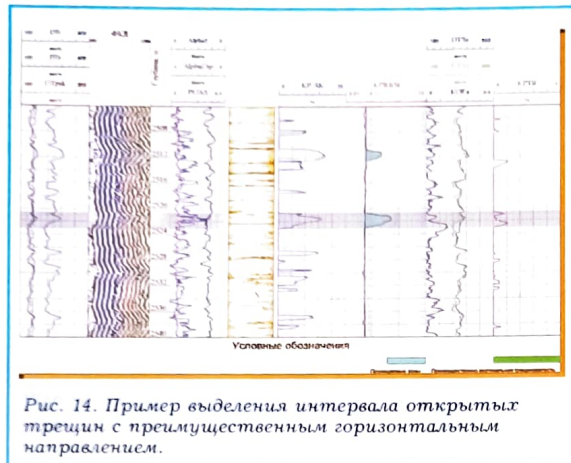


Рис. 14. Пример выделения интервала открытых трещин с преимущественным горизонтальным направлением.

Скважинные исследования проводились в различных регионах России: в Оренбургской обл., Республике Коми, в Красноярском крае,

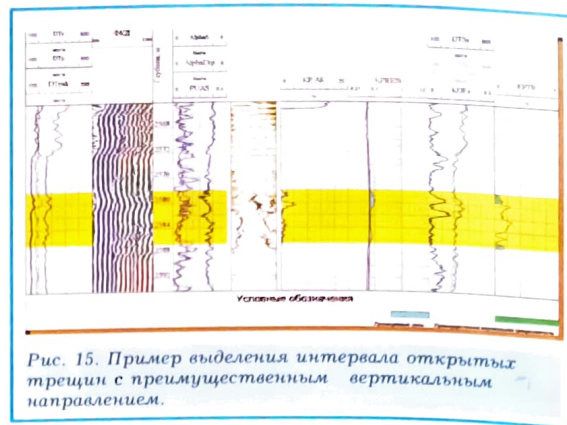


Рис. 15. Пример выделения интервала открытых трещин с преимущественным вертикальным направлением.

Республике Татарстан.

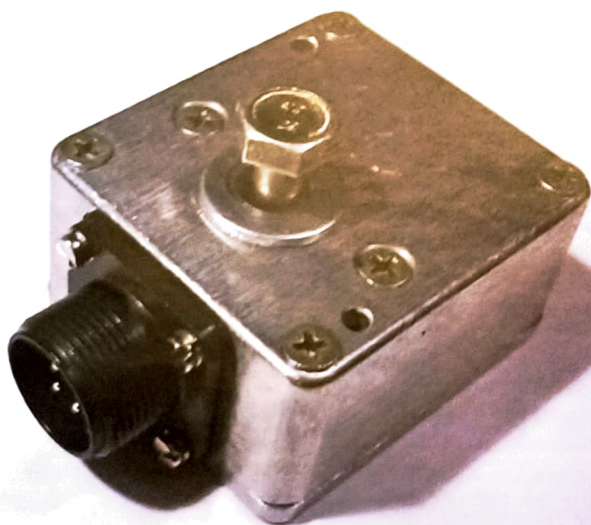
Необходимость проведения исследований за пределами Татарстана поставила задачу разработки термостойкого варианта аппаратуры ВАК-8, позволяющей проводить исследования скважин глубиной до 6000 м.

В настоящее время проводятся настройка и испытания опытного образца термостойкой аппаратуры ВАК-8У. Для повышения точности определяемых параметров в состав прибора был включен сигнальный процессор с целью накопления принимаемого сигнала и его последующей обработки. В аппаратуре предусмотрены модуль положения скважинного прибора, модуль измерения скорости звука в жидкости, и модуль измерения температуры. Возможны различные варианты компоновки новой аппаратуры другими модулями измерения.



АКСЕЛЕРОМЕТРЫ

для источников сейсмических сигналов



Варианты исполнения:

- типовые для:
Advance II, Mini Controller,
VibPro (Pelton), VE-416 (Sercel)
БУСВ, БУСВ МП (Сейсмотехника)
- один или два идентичных канала;
- диапазоны ускорений от $\pm 50g$ до $\pm 400g$
- нестандартные по спецификации заказчика

**Для всех вариантов - неизменно
надежность и качество**

т./ф.: (495)-5315258
info@seisel.com, www.seisel.com