

Современное состояние аппаратуры кросс-дипольного акустического каротажа в России

С. В. Добрынин

Использование достоверных данных о скоростях продольных и поперечных волн, полученных с высокой точностью за счет многократных измерений позволяет настраивать динамические инверсии при прогнозе фильтрационно-емкостных свойств детально стратифицировать отражающие горизонты путем синтетического моделирования, проводить инверсию временных разрезов в трассы пластовых параметров среды – скоростей, плотностей и акустических импедансов при построении геологических моделей залежей и т.д..

Введение

В настоящее время в России сложилось неоднозначное отношение к акустическому каротажу в нефтяных компаниях. Речь идет о роли современных многоканальных кросс-дипольных акустических зондов в построениях эффективной геологической модели. Отсутствие в этой области единых стандартов по качеству и количеству выдаваемой информации часто приводит к серьезным проблемам при поиске и разработке нефтегазовых месторождений.

В России до сих пор в большинстве компаний исследования акустическим каротажом (АК) проводятся устаревшими двухканальными зондами типа МАК 2, СПАК 6 и др., имеющими большие ограничения, как по качеству, так и по количеству выдаваемой информации. Имеющиеся приборы широкополосного АК (АКШ) – АВАК-11, ВАК-8 – не отвечают уровню современных требований ни по числу каналов, ни по частотному диапазону, что приводит к недостоверной информации о разрезе. В связи с этим необходимо констатировать тот факт, что для обеспечения задач сейсморазведки российская акустическая аппаратура, разработанная в

соответствии с старыми стандартами, *морально устарела* и *практически непригодна*. Однако привлечение передовой зарубежной аппаратуры вряд ли целесообразно вследствие радикально высокой стоимости. Выходом из кризисной ситуации может стать разработка отдельного *стандарта* на технологию проведения ГИС для обеспечения сейсморазведки, поскольку данная технология радикально отличается от технологии ГИС для подсчета запасов, которая уже регламентирована рядом документов.

Для более успешного поиска и разведки месторождений по данным сейсморазведки необходим единый *стандарт* в первую очередь в области ГИС, поскольку **ГИС для подсчета запасов и ГИС для обеспечения задач сейсморазведки – это разные вещи.**

В соответствии с существующими теоретическими представлениями пространственно-временная структура сейсмического поля (включая типы образующихся волн, их кинематические и динамические характеристики) полностью определяется распределением (а также анизотропией) упругих свойств горных пород в разрезе – а именно, скоростей распространения продольных и поперечных волн, их коэффициентами анизотропии, а также плотностью пород. Сами упругие модули часто оказываются связанными с петрофизическими параметрами пород, участвующими в расчётах при построении геологических и гидродинамических моделей залежей/месторождений – литологией, пористостью, проницаемостью, флюидонасыщением. Это обстоятельство представляет физическую основу количественной интерпретации данных сейсморазведки.

Современная интерпретация сейсмических данных носит количественный характер. Применение передовых технологий интерпретации (таких как AVO, инверсия, атрибутный анализ) предполагает наличие дополнительных специальных скважинных данных: ВСП, результатов кросс-дипольного широкополосного АК, плотностного, ядерно-магнитного и других видов каротажа. При этом методика проведения ГИС для петрофизического

обеспечения сейсмической интерпретации существенно отличается от обычных исследований – каротаж должен проводиться не только в интервале целевых пластов, а по значительно более широкому интервалу разреза для настройки как на коллектора, так и на вмещающие породы. Без этой информации невозможно выполнить калибровку сейсмических данных, которая необходима для прогноза коллекторских свойств (в первую очередь это относится к количественной динамической интерпретации, занимающейся прогнозом коллекторских свойств на основе различных алгоритмов инверсии).

Основные цели осуществления технологии «ГИС в поддержку сейсмических исследований», предназначенной для решения задач сейсморазведки, должны включать:

1. Петрофизическое обеспечение современных технологий количественной интерпретации сейсмических данных, позволяющих по сейсмическим данным определить распределение упругих модулей горных пород в разрезе.
2. Установление и анализ взаимосвязей подсчётных петрофизических параметров (таких как пористость, флюидонасыщенность, литология и эффективная толщина) с упругими модулями (и другими сейсмическими атрибутами) и, как следствие этого синтеза, осуществление прогноза коллекторских свойств по результатам сейсморазведки 3Д.
3. Идентификацию и анализ скоростных аномалий разреза для повышения достоверности структурных построений.

Прогноз коллекторских свойств и вещественного состава по данным сейсморазведки – задача со многими неизвестными. Основными технологиями, применяющимися для данной цели, являются: атрибутивный анализ (включая технологии, основанные на нейронных сетях), динамическая инверсия (по разрезам и сейсмограммам) и сейсмофациальный анализ

волнового поля. Даже в случае оптимальной регистрации и обработки сейсмических данных, эффективность прогноза может оказаться низкой из-за какой-либо геологической причины. Сейсморазведка изучает упругие свойства среды – V_p , V_s , плотность, и если этих параметров недостаточно, чтобы корректно описать модель пласта, то сейсморазведка бессильна.

Одним из важнейших (базовых) методов ГИС для задач 3Д сейсморазведочных исследований является многоканальный широкополосный АК (АКШ). Он позволяет определять с высокой разрешающей способностью (путем многоканальной статистической обработки) интервальные скорости продольных и поперечных волн (важнейшая опорная информация при изучении разреза сейсмическими методами).

Важность АКШ для количественной интерпретации сейсмических данных обусловлена тем, что в формировании сейсмического волнового поля вклад скоростей составляет более 90%). Любой прогноз петрофизических свойств - литологии, пористости, насыщения и т.п. – возможен лишь в той мере, в какой петрофизика пород оказывает влияние на их упругие свойства. Выбор акустического метода в качестве базового обусловлен тем, что современная аппаратура АКШ позволяет надежно регистрировать различные типы волн, как в высокоскоростных, так и в низкоскоростных породах, окружающих скважину – головные продольные и поперечные волны от монополярного источника, поперечные волны от дипольных источников, а также волну Стоунли от монополярного низкочастотного источника. Основой данной аппаратуры являются многоканальные измерительные системы, обладающие мультирежимным характером работы (создание волновых полей различного типа монополярными и дипольными источниками), узконаправленным азимутальным приемом сигналов, высокоэффективной акустической изоляцией. В качестве примеров, обладающих в полной мере данными свойствами, можно отметить зарубежные приборы ХМАС (ВН),

SScanner (SLB), WaveSonic (HB), а также новейшую российскую аппаратуру АМАК90Д.

Современная аппаратура АКШ представляет собой многоканальную систему (многоканальность и обеспечивает необходимую точность измерений) для надежной регистрации всех целевых волн (продольных, 2-х поперечных – быстрой и медленной, Стоунли), распространяющихся в околоскважинном пространстве. Именно качественная обработка и интерпретация данных АКШ позволяет измерить скорости распространения всех указанных типов волн, и через них определить все модули упругости (при условии наличия качественных данных о плотности пород) и эффективные толщины коллекторов.

В основе современного широкополосного АК лежит создание волновых полей различного типа и их регистрация. Обязательным является наличие, как минимум, одного монополюсного источника с несущей частотой порядка 8-12 кГц и полосой 0 – 20 кГц, – для создания головных волн (продольной и поперечной), а также волны Стоунли. Регистрация осуществляется на зондовых расстояниях, соответствующих дальней зоне волнового поля, и составляющих порядка 10 длин волн (от 2.5 м). Такие длины удовлетворяют также критерию глубинности, напрямую связанному с возможностью измерений при наличии измененной в результате бурения околоскважинной зоны. Прием сигналов осуществляется многоэлементной антенной, состоящей из нескольких линеек приемников с достаточно узкой диаграммой направленности, что обеспечивает регистрацию только в своем азимутальном секторе. В качестве приемников выбираются, как правило, датчики давления (гидрофоны), регистрирующие уровень давления в упругих колебаниях в жидкости внутри скважины, возникающих как результат излучения преломленных головных и поверхностной волны Стоунли.

Сформулируем наиболее **общие принципы**, на которых построены современные и перспективные измерительные системы кросс-дипольной аппаратуры АК:

- многоэлементная регистрация полезных сигналов для возможности проведения статистической обработки кинематических характеристик целевых волн (необходимое требование для обеспечения точности);
- обеспечение достаточной глубинности исследований, превышающей размеры измененной околоскважинной зоны для адекватной оценки скоростей в самой породе;
- достижение значения сигнал/шум для целевых волн – не менее 60 дБ;
- создание волнового поля монополюсного типа на частотах (8-12 кГц) для возбуждения и регистрации головных волн в высокоскоростных породах и только продольной волны в низкоскоростных породах;
- создание волнового поля в изотропных низкоскоростных породах на частотах 2-4 кГц для возбуждения и регистрации изгибной моды с целью определения скорости поперечной волны;
- создание волновых полей с поляризацией в 2-х ортогональных направлениях на частотах 2-4 кГц для возбуждения и регистрации изгибных мод (быстрой и медленной) в анизотропных породах с целью определения интервалов субвертикальной трещиноватости;
- возможность создания волнового поля монополюсного типа на низких частотах 1.5- 2 кГц с целью возбуждения и регистрации отдельным каналом волны Стоунли;

Исходя из данных принципов, сформулируем ряд минимально необходимых технических требований к современной аппаратуре, обеспечивающих надежную регистрацию информативных волн и достоверное определение их кинематических характеристик (табл. 1).

Таблица 1

№пп	Наименование	Показатели
1	Количество и тип излучателей	1 - монополь 1 - кросс-диполь

2	Несущая частота излучения и полоса частот: - монополь (P, S) - диполь (Sslow, Sfast) - монополь (St)	8-10 кГц (0- 20 кГц) 2- 3 кГц (0.5 – 5 кГц) 1.5-2 кГц (0.5- 5 кГц)
3	Мощность излучателей: - монополь - диполь	Не менее 3 кПа Около 0.1 кПа
4	Количество линеек приёмной антенны для каждого типа излучателей	не менее 4-х
5	Количество приемников в каждой линейке	не менее 8
6	Шаг между приемниками	150 – 200мм
7	Общее количество приемников	32
8	Полоса частот приемника	0.5 – 25 кГц
9	Минимальное расстояние между излучателем и ближайшим приёмником	не менее 2.5 м (3 м)
10	Разрядность АЦП (динамический диапазон)	не менее 16 (96 Дб)
11	Эффективность акустической изоляции	не менее 40 Дб

Особо в стандарте следует предусмотреть регистрацию волновых полей акустической аппаратуры в общеизвестном и международном формате. Например, в формате SEG-Y (общемировым понятным форматом сейсморазведки) с обязательным корректным описанием в заголовках трасс геометрии самого прибора с точным положением по кабельной глубине источников и приемников (антенны из приемников). В настоящее время в форматах записи волновых полей АК нет единого стандартного режима записи. Особенно это хорошо заметно по объемным и сложным форматам западных сервисных компаний, где полевую запись качественной многоканальной аппаратуры Бейкер Хьюз (ХМАС) из-за сложности формата XTF не может открыть компания Шлюмберже и наоборот. Уникальные волновые поля записываются во внутренних форматах сервисных организаций (XTF, DLIS, LIS), которые зачастую не передаются Заказчикам, и со временем просто теряются из-за сложностей, связанных с ограничением по сроку хранения данных и их значительного объема (500м записи занимает

памяти около 500 мБ). Это не позволяет другим организациям проводить экспертную переобработку в случае явных ошибок в первичной интерпретации самой сервисной компании. Обязательная сдача всех целевых волновых полей в формате SEG-Y (стандартный для сейсморазведки формат) позволит Заказчикам при желании без особых проблем оценивать качество всех волновых полей АК по уровню сигнал/шум, затыжкам и частотам практически в любом стандартном математическом обеспечении для визуализации данных сейсморазведки большинства вычислительных центров НК. Это позволит отбраковывать сбойные записи и значительно дисциплинирует подрядчиков. Все вышесказанное актуально ввиду схожести по реализации современной многоканальной аппаратуры акустического каротажа с работами ОГТ, где сначала проводятся полевые работы, а затем материал поступает на ВЦ для дальнейшей интерпретации. По сути, сейчас измерения 8-ми канальным кросс-дипольным акустическим зондом – полностью подобны право-фланговой системе сейсморазведки с импульсными источниками (причем с двумя источниками - монополюсом и диполем - одновременно). Аналогично сейсморазведке – в таких замерах присутствуют понятия кратность, отношение сигнал/шум, оценка скоростей продольных (поперечных) волн за общий пункт возбуждения и скоростей за общий пункт-приема по много-канальным полевым данным. Это позволяет синтезировать компенсированный алгоритм определения интервальных времен без значительных погрешностей за форму ствола и собственный перекося прибора в скважине.

Необходимо отдельно предусмотреть в формате SEG-Y обязательное формирование “истинных” амплитуд всех целевых волновых полей. Это связано с тем, что в западных полевых форматах станции запись самих волновых процессов от различных источников – осуществляется с учетом усиления (Gain) и задержки записи (Stat) на каждом приемном канале многоканальной записи, причем формула получения “истинных” амплитуд с учетом коэффициентов усиления у каждой компании существенно разная. Т.е

найти на практике данные по корректному учету коэффициента усиления (при записи) для конкретной западной аппаратуры часто просто невозможно. Все вышеизложенное указывает на необходимость скорейшего принятия единого стандарта записи и хранения уникальных данных многоволнового многоканального кросс-дипольного каротажа для всех подрядных организаций в области работ ГИС в России.

В настоящее время согласно не публичному внутреннему соглашению западных сервисных компаний, все полевые записи стационарных полей (типа - АКШ, ЯМР, Сканер) таких приборов - обязательно экспортируются в формат DLIS, причем внутренняя структура самого формата DLIS, каждым подрядчиком трактуется исключительно в рамках собственного понимания этого формата. Т.е. полевой формат DLIS созданный в компании Халлибуртон практически невозможно прочитать в стандартном софте Шлюмберже (исторический владелец этого формата). Это естественно приводит к полному отсутствию какой-либо конкуренции в области интерпретации волновых полей и значимому удорожанию самого процесса интерпретации. Не редки случаи, когда стоимость интерпретации (по всем кодам обработки) данных кросс-дипольных измерений, практически сравнивались по стоимости с самими полевыми измерениями этой сложной аппаратурой. Именно в целях расширения круга сервисных компаний способных грамотно и недорого провести интерпретацию с учетом Российских особенностей строения недр и следует принять соответствующий регламент на передаваемые форматы полевых данных.

Другой проблемой в отсутствии всякой конкуренции обработки, является формальный подход к ней в большинстве западных компаний. Где обработка в основном реализована по “кнопочной” технологии без обучения основам физики распространения волн различных типов. Обучение специалистов для интерпретации кросс-дипольного каротажа обычно не превышает двух недель.

В целях подтверждения формальной обработки западных компаний, в одной и той же скважине был проведен анализ (двух вариантов обработок) по общепризнанным свойствам на планшетах ROCK PHYSICS по шкале ординат – отношение скорости продольной волны к поперечной V_p/V_s , по шкале абсцисс - акустический импеданс AI ($V_p \cdot \rho$). Рис.1

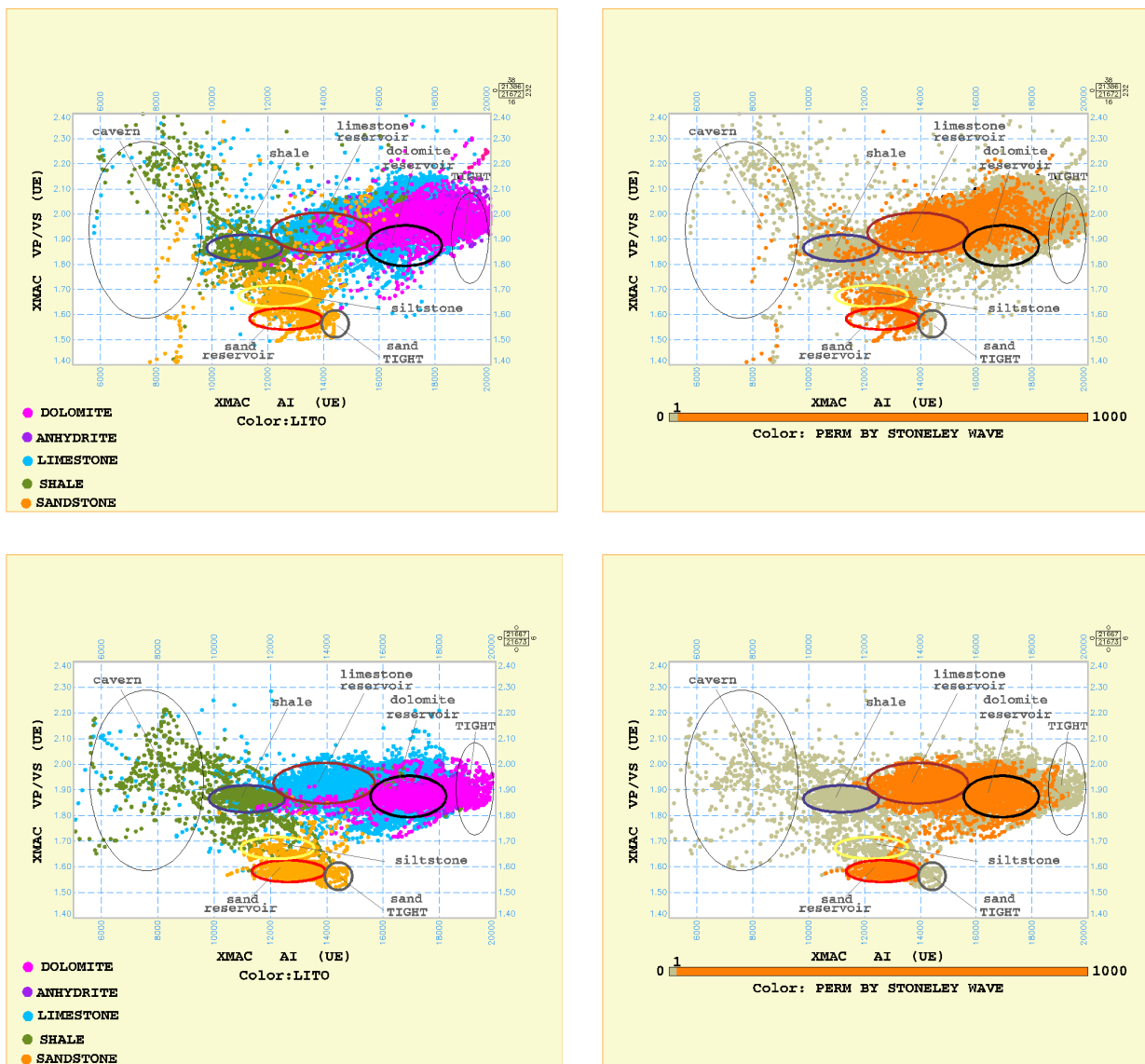


Рис.1. Изображение на специализированных планшетах результатов обработки двух компаний (сверху – западный вариант, снизу – российский вариант). Цветом слева показана литология, справа – проницаемость. Надписи на планшетах основывались на литологии по данным ГТИ с учетом керновых данных на площади.

Как следует из рис.2, интерпретация, проведенная в российской компании, позволяет наметить четкие ореолы расположения точек на планшетах по литологии и проницаемости. Это полностью подтверждает корректность российской интерпретации данных АКШ и обуславливает необходимость постоянного контроля западных подрядчиков по качеству обработки скоростей всех целевых волн. Именно эти связи являются основой настройки при проведении динамических инверсий по данным ОГТ для поиска зон наилучших коллекторов при проведении оптимального разведочного бурения. Данный пример доказывает, что использование формальной (кнопочной) технологии обработки данных многоканального кросс-дипольного каротажа – часто приводит к непоправимым ошибкам при настройках современных синхронных инверсий по сейсмическим данным и, как следствие, планирование не совсем удачной карты бурения скважин при разработке месторождений полезных ископаемых.

Таким образом, основным выводом данного доклада следует считать, рекомендацию по организации в НК собственных контролирующих качество структур, позволяющих оперативно в случае необходимости проводить корректную (с точки зрения скоростей целевых волн) переобработку уникальных скважинных данных в понятных международных форматах записи.

Сведения об авторе:

Добрынин Сергей Валерьевич, начальник отдела комплексной интерпретации скважинных данных ООО «Мегапойнт», кандидат технических наук., автор более 40 научных статей в области ГИС, ВСП, акустического каротажа и мониторинга ГРП, трех Авторских Свидетельств. Автор ряда технологий обработки многоканального кросс-дипольного каротажа. Автор курсов лекций по обработке современного кросс-дипольного каротажа (прочитано для EAGE, EАГО, НТЦ "Амплитуда"). Признанный эксперт в области обработки современных систем АКШ всех ведущих компаний.
sergey.dobrynin@mail.ru

