

## **Мониторинг технического состояния скважин в программном комплексе СОНАТА**

*С.В. Белов, Е.В. Заичкин, О.В. Наугольных,  
И.В. Ташкинов (ООО Предприятие «ФХС-ПНГ»)  
НТВ Каротажник № 2(191) 2010г.*

*Показана эффективность использования программного комплекса СОНАТА для мониторинга технического состояния нефтегазовых скважин, включающего технологию комплексной обработки и интерпретации широкого спектра геофизических методов.*

*Ключевые слова: программное обеспечение, техническое состояние скважин, мониторинг, контроль, качество цементирования, акустический каротаж, гамма-гамма цементометрия, дефектоскопия, сжатие, Соната, секторная акустическая цементометрия.*

Одним из направлений деятельности ООО Предприятие «ФХС-ПНГ» на протяжении уже почти 15 лет является разработка программного обеспечения для геофизических предприятий, в том числе и для оценки технического состояния скважин. На сегодняшний день клиентская база насчитывает около 40 геофизических предприятий России, Казахстана, Белоруссии, Туркмении[6].

Мониторинг технического состояния означает проведение комплекса геофизических исследований на каждом этапе строительства скважины и во время ее дальнейшей эксплуатации.

Основными геофизическими методами контроля технического состояния скважины являются акустический каротаж, гамма-гамма цементометрия, магнито-импульсная дефектоскопия, профилометрия обсадных колонн, скважинный акустический телевизор. Например, в Пермском Крае на месторождениях НК «ЛУКОЙЛ» стандартный

обязательный комплекс по оценке технического состояния включает 3 геофизических метода акустическую, гамма-гамма цементометрию, электромагнитную дефектоскопию обсадных колонн.

Эти методы позволяют оценивать состояние контактов обсадной колонны и цементного кольца, диагностировать состояние цементного камня, определять высоту подъема цемента, эксцентриситет обсадной колонны.

При помощи такого комплекса определяют также толщины колонн, глубины местоположения элементов конструкции скважины и интервалов перфорации, выделяют интервалы коррозии, смятия и другие дефекты обсадных колонн.

Для построения эффективной технологии мониторинга технического состояния скважины недостаточно иметь набор современных аппаратных средств, необходим также эффективный технологичный программный инструмент позволяющий построить на геофизическом предприятии сквозную, комплексную технологию по обработке и интерпретации геофизических данных. Это должно обеспечиваться полной технологической цепочкой, включающей оперативную передачу данных со скважины в контрольно-интерпретационные партии (КИП), приемку и контроль качества исходных полевых материалов, обработку, комплексную интерпретацию различных геофизических методов и выдачу заключения заказчику геофизических работ.

Одним из ключевых факторов при оценке технического состояния скважины во время геофизических исследований является время выдачи заключения, а соответственно и время простоя буровой бригады или бригады КРС. Поэтому важно обеспечить быструю передачу исходной геофизической информации со скважины в КИП. Использование волнового акустического каротажа (ВАК) увеличило объемы исходной информации до десятков и даже сотен мегабайт. А при использовании секторной акустики объем данных увеличивается на порядок. Для удаленных полевых партий передача такого объема данных по спутниковой или сотовой связи

составляет в среднем 2-3 часа, что является неприемлемым для оперативной интерпретации. Решить данную проблему позволяет сжатие акустических данных.

Предприятие «ФХС-ПНГ» разработало программу сжатия данных полного волнового акустического каротажа [1], позволяющую обеспечить максимальную степень сжатия при минимальных искажениях сигнала и сократить время передачи данных в среднем до 4 – 18 мин.

На смену существующей программы сжатия волнового акустического каротажа в ближайшее время планируется выпустить новый программный продукт, ориентированный на использование операторами каротажных станций и предназначенный для оценки качества полевых данных, подготовке их к передаче в КИП, сжатия различных геофизических данных большого объема, а не только акустического каротажа, экспресс-обработки данных с возможностью выдачи предварительного заключения непосредственно на скважине.

Для оценки технического состояния скважины разработан программный комплекс СОНАТА, реализующий полную технологическую цепочку от ввода исходных полевых материалов, контроль качества, предварительную обработку, комплексную интерпретацию различных геофизических методов и выдачу заключения заказчику геофизических работ на всех этапах строительства и эксплуатации скважины [2].

Все алгоритмы и методики интерпретации, использованные в системе СОНАТА, соответствуют утвержденным стандартам, руководящим документам, методическим указаниям и опробованы в производственном режиме на различных геофизических предприятиях. СОНАТА сертифицирована Евро-Азиатским геофизическим обществом на соответствие стандарту по сертификации программных пакетов и систем обработки и интерпретации геофизических данных, стандарту по определению качества цементирования обсадных колонн в скважинах на месторождениях НК «РОСНЕФТЬ»[3], а также методическому руководству

по проведению магнитоимпульсной дефектоскопии-толщинометрии в нефтяных и газовых скважинах и обработке результатов измерений[4].

Программный комплекс СОНАТА является одной из немногих программ, представленных на геофизическом рынке, которая поддерживает ввод и обработку исходных полевых данных получаемых большинством известных наземных регистрирующих комплексов и геофизических форматов.

Оценка качества и приемка полевого материала осуществляется в соответствии с требованиями технической инструкции по проведению геофизических исследований [5]. Для оценки качества волнового сигнала разработана оригинальная методика. По результатам оценки качества материала формируется подробный отчет, в котором указывается общая оценка материала, и если обнаружено, причины некачественного материала. В зависимости от результатов интерпретатор принимает решение о возможности обработки материала, о способах предварительной обработки, выдает рекомендации оператору полевой партии и наладчику геофизической аппаратуры. Предварительная обработка данных включает увязку по глубине, объединение разных замеров, редактирование исходных кривых. Предварительная обработка волнового сигнала может состоять из различных процедур повышающих соотношение сигнал/шум, включая удаления выбросов, коррекции смещения нуля, устранения ограничений сигнала, частотную фильтрацию, и т.д.

Например, как показывает опыт, при исследовании боковых стволов или горизонтальных участков скважины зачастую получать достоверные параметры и корректное заключение без применения предварительной обработки волнового сигнала практически невозможно. На рис. 1 показан исходный сигнал и сигнал, полученный в результате его обработки в системе СОНАТА.

Начальным этапом мониторинга технического состояния является информация, получаемая в открытом стволе. СОНАТА позволяет

осуществлять обработку и интерпретацию, пожалуй, одного из самых сложных геофизических методов - метода широкополосного акустического каротажа. Обработка волнового сигнала в открытом стволе заключается в выделении в волновом поле продольной, поперечной, волны Стоунли. После выделения пакетов волн рассчитываются динамические, спектральные характеристики и физико-механические свойства пород (рис. 2)

Обработка может осуществляться для любого типа аппаратуры акустического каротажа, включая многоэлементную и, кроссдипольную аппаратуру, типа АВАК. При этом для обработки многоэлементных приборов используется автоматический метод выделения волны, так называемый метод подобия, что позволяет значительно сократить трудоемкость работы, а также исключить субъективность интерпретатора при обработке сигнала. Кроме того, данный метод позволяет использовать все достоинства и преимущества многоэлементной аппаратуры, увеличивая достоверность и точность определения скоростей волн.

Одним из применений акустического каротажа в открытом стволе служит интерпретация полной энергии упругих волн, с целью выделения приточных зон в низкопористых карбонатных породах. В основе методики лежит предположение, что для одного литотипа пород полная энергия волн акустического сигнала зависит только от скорости волн и плотности пород и может быть вычислена. Если измеренная энергия оказывается меньше вычисленной, то в пласте присутствуют вторичные пустоты, и он может быть коллектором сложного типа. Преимуществом данной методики является простота и высокая эффективность ее применения для выделения карбонатных коллекторов с вторичной пористостью, когда стандартные методы не работают (рис. 3).

Для оценки технического состояния обсаженной скважины в настоящее время в системе СОНАТА реализована обработка и комплексная интерпретация 3-х основных геофизических методов контроля технического

состояния и качества цементирования: акустическая цементометрия, гамма-гамма цементометрия-толщинометрия и магнито-импульсная дефектоскопия.

Обработка и интерпретация данных АКЦ с целью определения качества цементирования колонны в системе СОНАТА включает:

- оценку контакта на границе колонна-цемент и цемент-порода;
- определение величины микрозазора;
- вычисление угла раскрытия канала в цементном кольце;
- расчет коэффициента качества сцепления;
- обработка данных акустической цементометрии возможна для любых типов приборов акустического каротажа как российского, так и зарубежного производства;
- определение типа дефекта и его величины возможно по данным разночастотной записи акустической цементометрии;
- алгоритмы и методика интерпретации акустической цементометрии соответствуют стандарту НК «РОСНЕФТЬ» по оценке качества цементирования, что подтверждено сертификатом Евро-Азиатского геофизического общества.

Особенностью обработки АКЦ является возможность использования известных различных методик обработки АКЦ, а также их гибкая настройка под различные требования и стандарты, предъявляемые к оценке качества цементирования со стороны нефтяных компаний.

Возможность использования данных о плотности цемента и данных в открытом стволе помогает повысить точность интерпретации (особенно для облегченных цементов и карбонатных разрезов).

Необходимость мониторинга замеров акустического каротажа можно привести на следующем примере (рис 4). По замеру АКЦ, сделанному в эксплуатационной колонне в интервале 1780 – 1800 м. интерпретатором выдается заключение о плохом контакте цемента с колонной, т.к. и кинематические и амплитудные параметры соответствуют плохому сцеплению. Однако сопоставление с данными акустического каротажа в

открытом стволе показывает идеальную корреляцию интервальных времен и схожесть сигналов открытого и закрытого ствола. Следовательно, вывод о плохом качестве сцепления по единственному замеру без привлечения информации в открытом стволе был сделан неправильно.

Для увеличения разрешающей способности метода АКЦ необходим переход от аппаратуры интегрального типа к сканирующей аппаратуре. Так по оценкам компании Sondex сегодня на Западе основной объем акустических исследований по контролю цементирования проводится именно секторными приборами, который превышает исследования обычными интегральными зондами акустического каротажа в 6 раз.

Уже сегодня на геофизическом рынке доступна секторная акустическая аппаратура контроля качества цементирования не только зарубежного, но и российского производства, например прибор МАК-СК производства ОАО НПФ «Геофизика», которая позволяет определять каналы раскрытостью свыше  $10^\circ$ , а также за счет небольшой длины зонда эффективно оценивать качество цементирования в карбонатных разрезах. Для удобства калибровки результатов такая аппаратура интегрируется со стандартными зондами акустического каротажа.

Для обработки данных секторной акустической цементометрии, получаемых различными приборами, включая МАК-СК, RBT, USBA22 и др. разработан специальный модуль позволяющий, проводить оценку качества цементирования по периметру скважины с построением карты цементирования (рис. 5).

Основными преимуществами модуля являются:

- совместная обработка данных и оценка качества цементирования по данным стандартной (интегральной) и секторной АКЦ;
- калибровка секторных зондов по интегральной или по модельной записи;
- возможность привязки данных секторного прибора к показаниям стандартного АКЦ для учета затухания в промывочной жидкости;

- оценка угла смещения и перекося прибора;
- оценка достоверности результата расчета по величине погрешности определения времени волны по колонне;
- учет влияния смещения прибора на регистрируемые амплитуды сигналов по секторам;
- построение диаграммы и средних по окружности значений ослабления и индекса цементирования;
- оценка качества цементирования и герметичности заколонного пространства.

Результатом комплексной интерпретации стандартного и секторного АКЦ может являться характеристика гидроизоляции пластов.

Обработка и получение результатов интерпретации гамма-гамма цементометрии возможна для любого типа аппаратуры гамма-гамма цементометрии с одновременным, сканирующим, и с поочередным опросом датчиков.

Результатом обработки ГГЦ являются:

- определение толщины колонны с возможностью паспортизации по каждой трубке;
- вычисление эксцентриситета колонны;
- определение плотности цемента за колонной с поправкой за эксцентриситет, в том числе и в интервалах многоколонной конструкции скважины;
- построение развертки плотности цемента и толщины колонны по периметру скважины с поправкой за вращение прибора;
- выделение каналов в цементном кольце;
- расчет однородности и характеристики заполнения цемента;
- выделение муфтовых соединений обсадной колонны.

Модуль обработки данных электромагнитной дефектоскопии дополняет методы акустической и гамма-гамма цементометрии для определения технического состояния обсадных колонн и может применяться для



обработки аппаратуры серии МИД-К и ЭМДСТ-МП. Результатом обработки являются рассчитанные толщины первой и второй колонны, выделенные муфтовые соединения внутренней и внешней колонны, интервалы перфорации, коррозии и другие нарушения колонн. В ходе обработки возможно устранение влияния намагниченности колонны и эксцентриситета труб.

Основными преимуществами данного модуля являются:

- возможность визуального выделения на изображении дефектограммы дефектов колонны и особенностей конструкции в условиях сложной конструкции скважины;
- использование опорных интервалов при обработке электромагнитной дефектоскопии позволяет получать достоверные результаты при использовании труб разной толщины и различных электромагнитных свойствах металла;
- возможность удаления влияния муфт внутренней колонны на рассчитанную толщину внешней колонны;
- автоматическое выделение дефектов колонн.

Интеграция обработки методов электромагнитной дефектоскопии, гамма-гамма цементометрии и акустической цементометрии в единый технологический комплекс позволяет получать комплексное и более достоверное заключение по оценке технического состояния колонны.

Определение герметичности заколонного пространства осуществляется по комплексной интерпретации данных акустической и гамма-гамма цементометрии.

По результатам комплексной интерпретации есть возможность построения не только графического планшета, но и автоматическая генерация заключения в Microsoft Word и Excel, включающее информацию по скважине, подробную поинтервальную характеристику технического состояния, местоположение элементов конструкции, различную процентную

статистику качества цементирования, в том числе в интервалах детальных исследований.

На рис. 6 показана совместная обработка гамма-гамма цементометрии и электромагнитной дефектоскопии. Видно, что толщина колонны, полученная по двум методам, совпадает практически на всем интервале и только на одной трубе толщины колонн значительно расходятся. Уменьшение толщины колонны по данным электромагнитной дефектоскопии свидетельствует об изменении электромагнитных свойств обсадной колонны, к которому гамма-гамма метод является нечувствительным.

Акустический каротаж, проведенный до и после перфорации, вместе с электромагнитной дефектоскопией позволяет не только надежно выделять интервалы щелевой гидропескоструйной перфорации, но также и оценивать ее глубину (рис. 7).

Программный комплекс СОНАТА может также применяться для обработки и интерпретации данных акустической шумометрии, скважинного акустического телевидения.

Таким образом, комплекс СОНАТА является эффективным инструментом по оценке технического состояния скважин, включающего технологию комплексной обработки и интерпретации широкого спектра геофизических методов.

Использование единого программного комплекса для оценки технического состояния скважины, включающего универсальную обработку данных, полученных большинством геофизических приборов, как российского, так и зарубежного производства, позволяет интерпретатору значительно сократить время получения комплексного заключения, при этом использование информации получаемой на различных этапах строительства скважины, начиная от исследований в открытом стволе, кондукторе и до исследований технического состояния эксплуатационной колонны и НКТ, позволяет значительно повысить достоверность и информативность проводимого мониторинга состояния скважины, особенно в интервалах

многоколонной конструкции и сложных геолого-технических условиях, а также перейти к качественно новым параметрам, таким как остаточный срок безопасной эксплуатации скважины.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Заичкин Е.В., Белов С.В., Ташкинов И.В., Шумилов А.В. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ «Сжатие полного волнового пакета акустического каротажа» (Сжатие ВС). Москва, РОСПАТЕНТ, 11.12.2002, № 2002612073.
2. Белов С.В., Заичкин Е.В., Наугольных О.В., Ташкинов И.В., Шумилов А.В. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ «Модульная система обработки и интерпретации данных геофизических исследований скважин» (Соната) № 2004610273 от 22.01.2004 // М., РОСПАТЕНТ.
3. Стандарт компании по определению качества цементирования обсадных колонн в скважинах и боковых стволах скважин на месторождениях ОАО «НК «Роснефть» / М.: ОАО «НК «Роснефть», 2005.
4. Методическое руководство по проведению магнитоимпульсной дефектоскопии-толщинометрии в нефтяных и газовых скважинах аппаратурой МИД-Газпром и обработке результатов измерений // М.: ОАО «ГАЗПРОМ», ОАО «Газпромгеофизика», ЗАО НПФ «ГИТАС», 2003.
5. РД 153-39.0-072-01. Техническая инструкция по проведению геофизических исследований и работ приборами на кабеле в нефтяных и газовых скважинах. М.: ГЕРС, 2001.
6. Сайт: <http://www.fxc-png.ru>

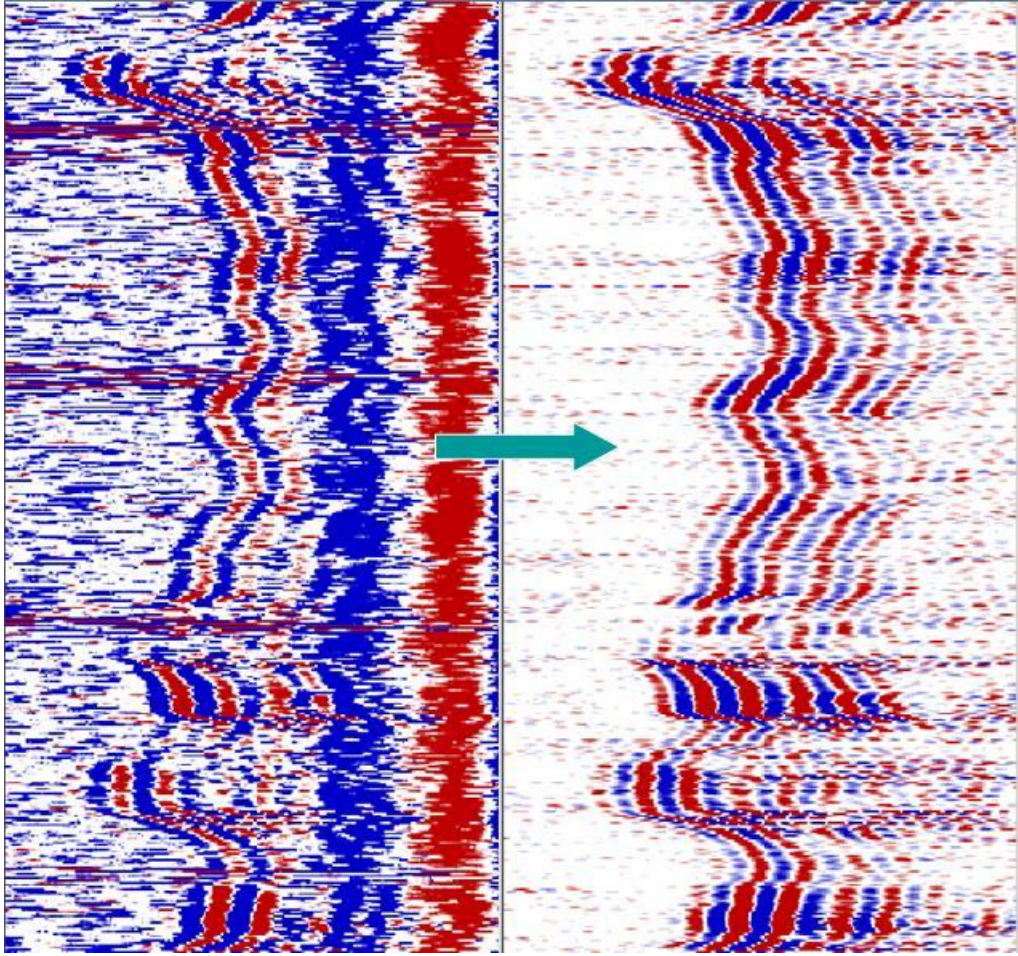


Рис. 1. Исходный сигнал и сигнал, полученный в результате его обработки в системе СОНАТА

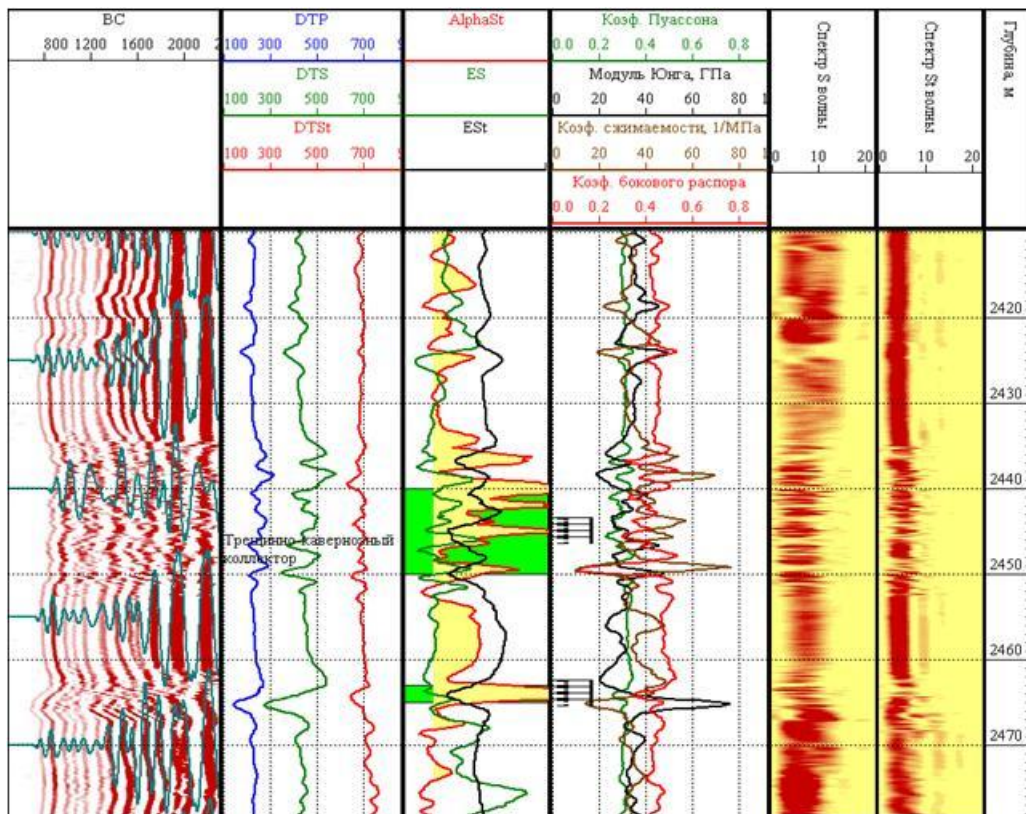


Рис. 2. Обработка широкополосной акустики в открытом стволе

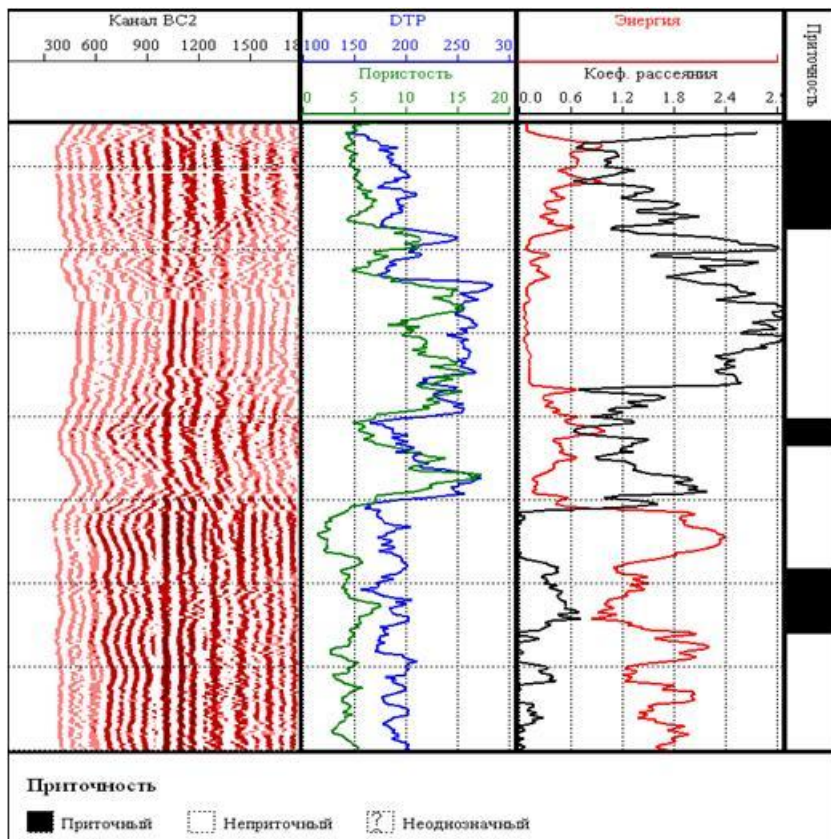


Рис. 3 Выделение приточных зон в низкопористом карбонатном разрезе.

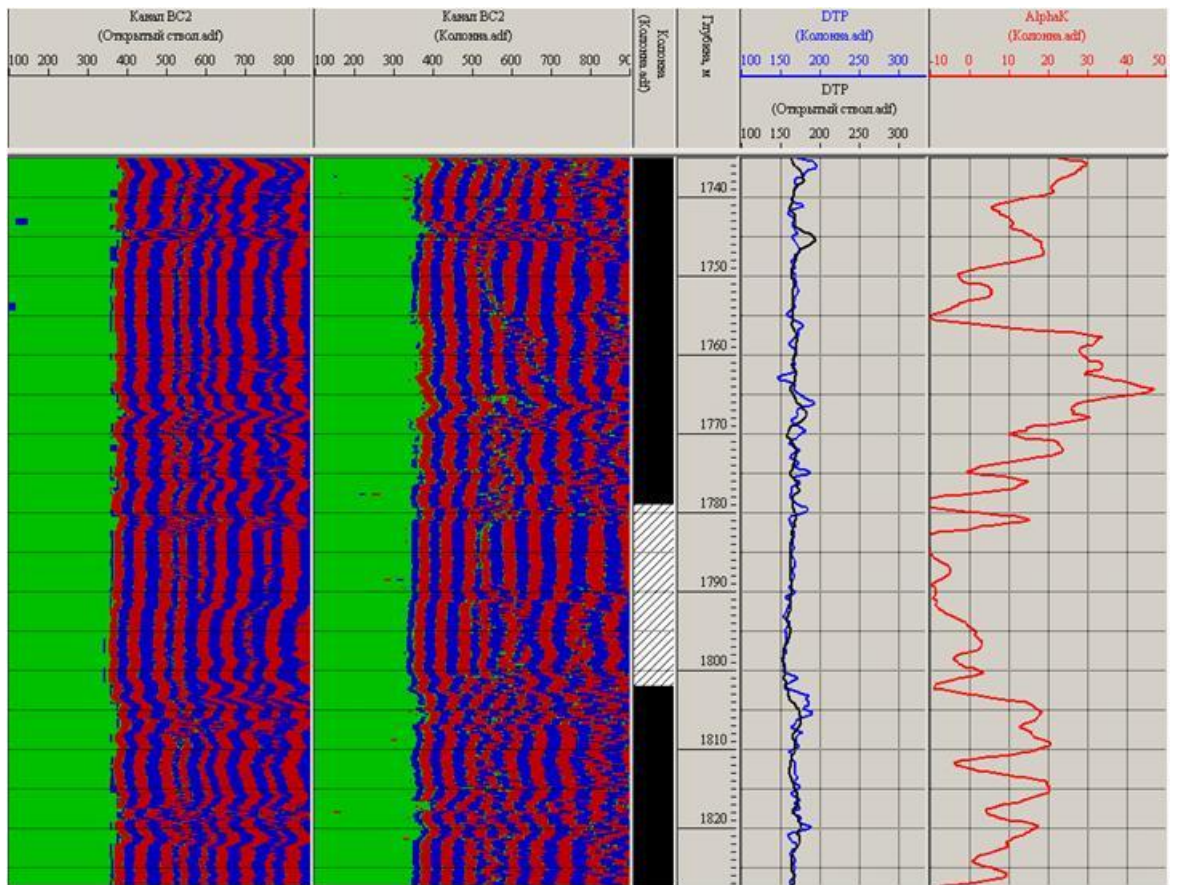


Рис. 4 Сравнение акустического каротажа в открытом стволе и обсаженной скважине

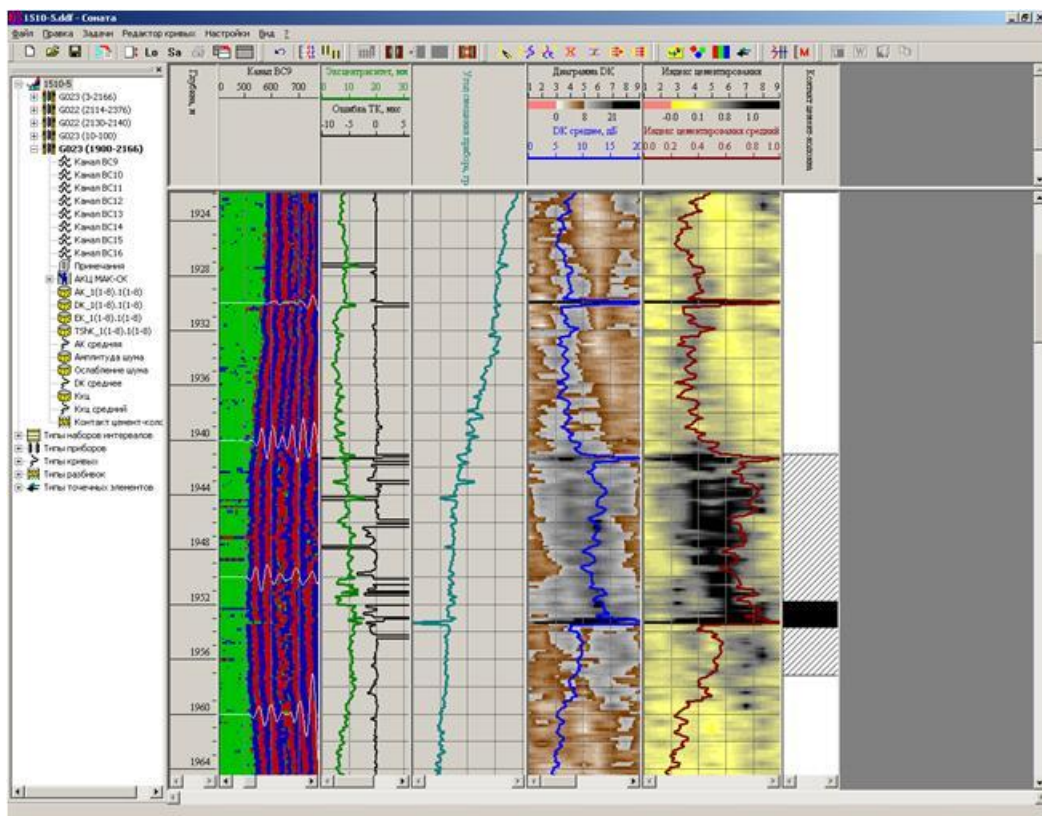


Рис. 5 Пример обработки данных МАК-СК в модуле АКЦС

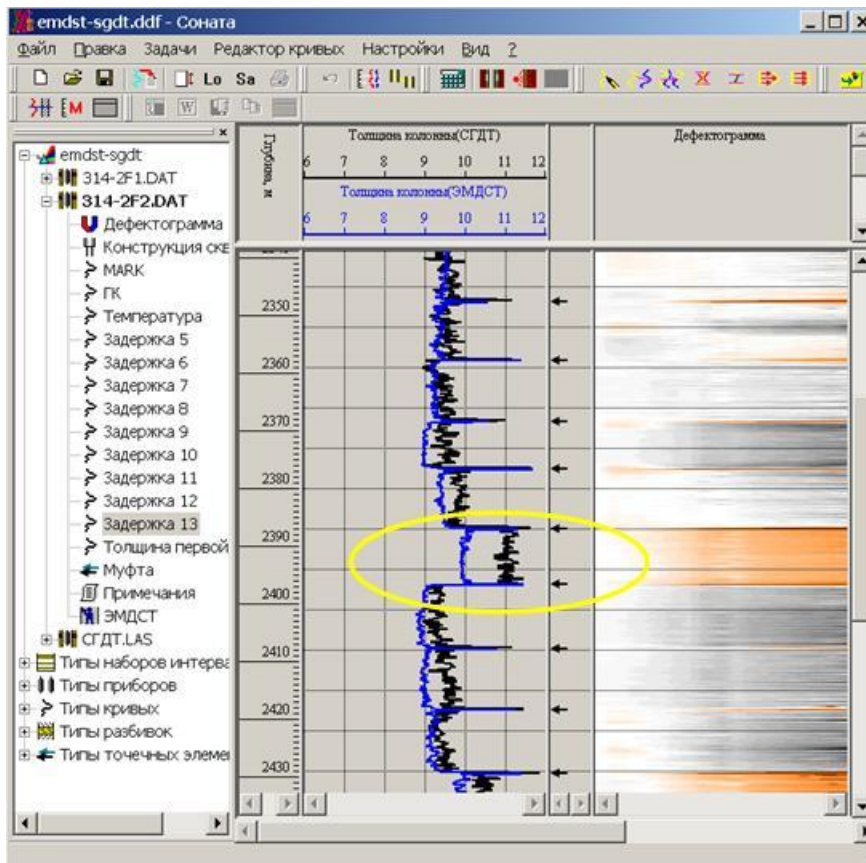


Рис.6 Совместная обработка гамма-гамма цементометрии и электромагнитной дефектоскопии



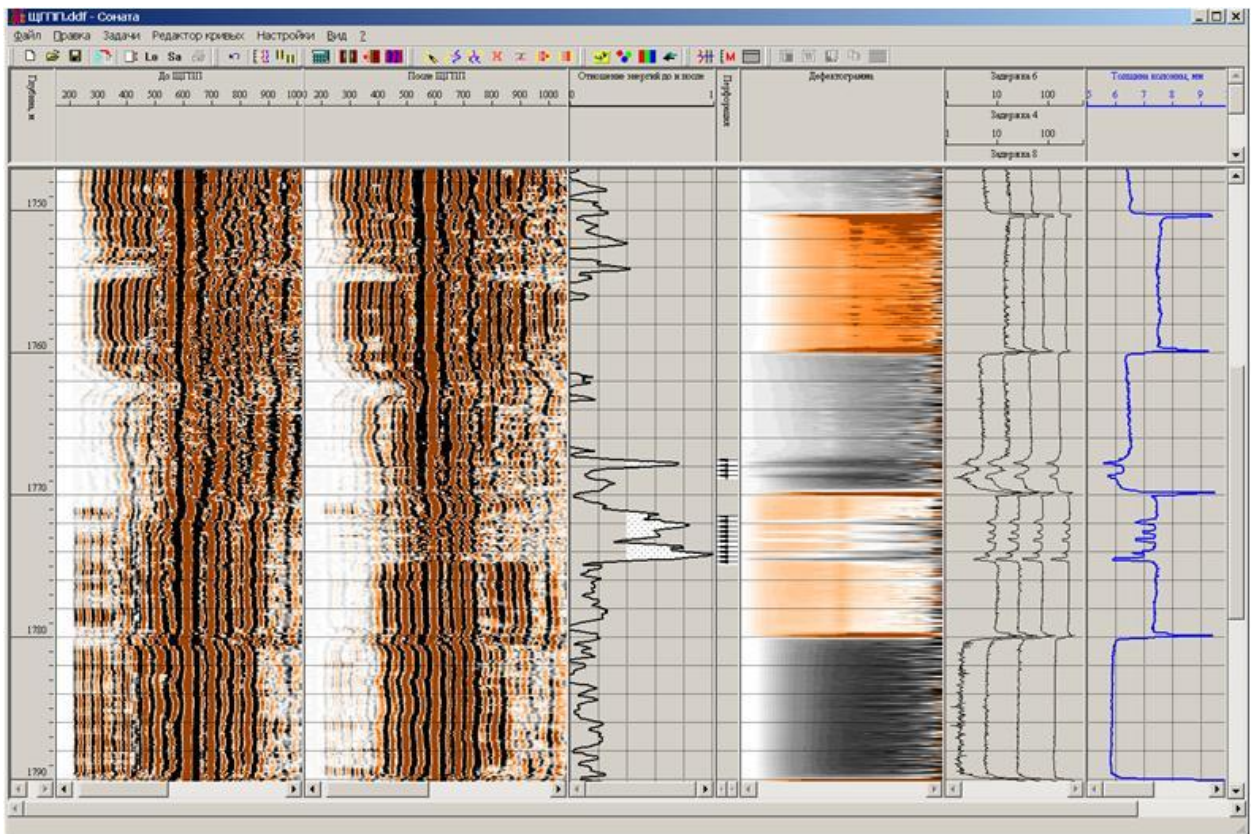


Рис. 7 Выделение интервалов ЩГП по данным акустического каротажа и магнитоимпульсной дефектоскопии.