

## Скважинная и нетрадиционная сейсморазведка

### How 3DVSP has become a practical proposition 3D-ВСП становится реальным предложением

**Фрэн Доэрти (Fran Doherty), руководитель отдела разработки программного обеспечения, рассказывает, как метод вертикального сейсмического профилирования 3D стал удобным инструментом для улучшения определения геологической среды, и представляет пример из практики для демонстрации ее применения.**

**3**

а последние 15 лет наземная сейсморазведка 3D стала стандартным общепринятым методом для определения глубинного геофизического разреза.

Переход от получения и обработки 2D-сейсмических данных к 3D-сейсморазведке произошел благодаря как крупным вложениям в научно-исследовательские работы, так и значительному снижению стоимости производительности компьютеров. Сейчас получают намного больше сейсмических материалов, и существующая вычислительная мощность компьютеров позволяет успешно и экономично обрабатывать эти огромные объемы данных. Сегодня с помощью 3D-сейсморазведки получено изображение большей части осадочных бассейнов.

За последнее десятилетие удалось значительно развить метод ВСП (вертикальное сейсмическое профилирование). Возможно, наибольее существенным техническим прогрессом в скважинной сейсморазведке было создание многокомпонентных зондов с несколькими приборами. До этого для получения данных в каждой заданной точке приема требовалось поднимать или опускать зонд, прижимать его к скважине и после записи сейсмоподробности освобождать зонд и снова транспортировать его по скважине. Это очень трудоемкая, а значит, и дорогая операция.

Многоуровневые зонды с несколькими приборами обычно содержат от 5 до 20 приборов в одной сборке. Шаг между приборами различный, но чаще всего он составляет порядка 15 м. Каждый прибор содержит 3 ортогональных сейсмоприемника, что позволяет записать полный вектор сейсмических колебаний. Посредством ВСП можно записать как продольные (P), так и поперечные (S) волны, а также различить и разделить их в процессе последующей специальной обработки. Возможность осуществить запись сигнала одновременно на различных глубинах из одного пункта взрыва позволила значительно снизить стоимость оборудования ВСП, повысив количество данных скважинной сейсморазведки, которое может быть получено.

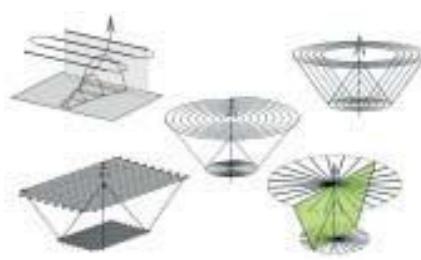


**Рис.1.** Многокомпонентный зонд ВСП с несколькими приемниками

Использование многоприборных зондов означает, что метод 3D-ВСП существенно снижает время нахождения сборки в скважине. С экономической точки зрения выгодно создавать обширную сетку наземных пунктов взрыва, фиксировать зонд с несколькими приборами в какой-либо определенной точке скважины и достаточно быстро и эффективно получать 3D-данные. Нефтяные компании довольно скоро стали проектировать и осуществлять работы 3D-ВСП. Но хотя главная проблема аппаратуры ВСП была решена, оказалось, что, несмотря на хорошо известные технические приемы и методику обработки наземной сейсморазведки, обработка данных 3D-ВСП является более сложной задачей.

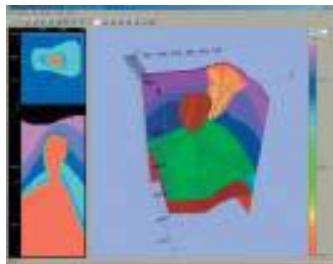
В то время как деньги и проводимые научно-исследовательские работы позволяли развивать техническое обеспечение и методику полевых работ на протяжении нескольких лет, оставались нерешенными проблемы коммерциализации метода. Обработка 3D-ВСП предоставила целый ряд проблем и спорных вопросов. Первой проблемой, с которой пришлось столкнуться, оказалось хранение и управление данными. Компании, специализирующиеся на обработке ВСП, обычно очень мало взаимодействовали с теми, кто обрабатывал наземную сейсморазведку. Системы обработки были приспособлены для работы со сравнительно небольшими объемами информации, в среднем порядка 1000 или 10000 трасс на съемку. Требования к технике и системе записи и хранения данных определялись в соответствии с этими объемами данных. Стандартные трехкомпонентные ВСП дают гораздо большее количество сейсмогравитационных. И это не исключение, когда 3D-ВСП содержит порядка 50000 или 1000000 трасс. Техническое обеспечение не могло справиться с такими объемами данных 3D ВСП.

Другой проблемой стало то, что вложение денег в специальное программное обеспечение, требующееся для обработки этих огромных объемов данных, было несоизмеримо с инвестированием технических средств.



**Рис.2.** Пример проектирования разведки методом ВСП.

## Скважинная и нетрадиционная сейсморазведка



**Рис.3.** Предполевое моделирование. Оптимальные параметры съемки могут быстро быть установлены точным 3-х мерным моделированием до начала работ.

Данные ВСП похожи на данные наземной сейсморазведки по частотному составу (спектральный состав ВСП немного выше). Поэтому многие способы обработки наземной сейсморазведки могут применяться при обработке ВСП. Тем не менее, различия между ВСП (точки приема в скважине, источники возбуждения на поверхности) и наземными методами (поверхностные источники и приемники) требуют специального набора модулей обработки для данных ВСП. Различия в геометрии наблюдений между скважинными и наземными данными, также как и применение трехкомпонентных сейсмоприемников требуют исследования и последующего развития миграционного изображения.

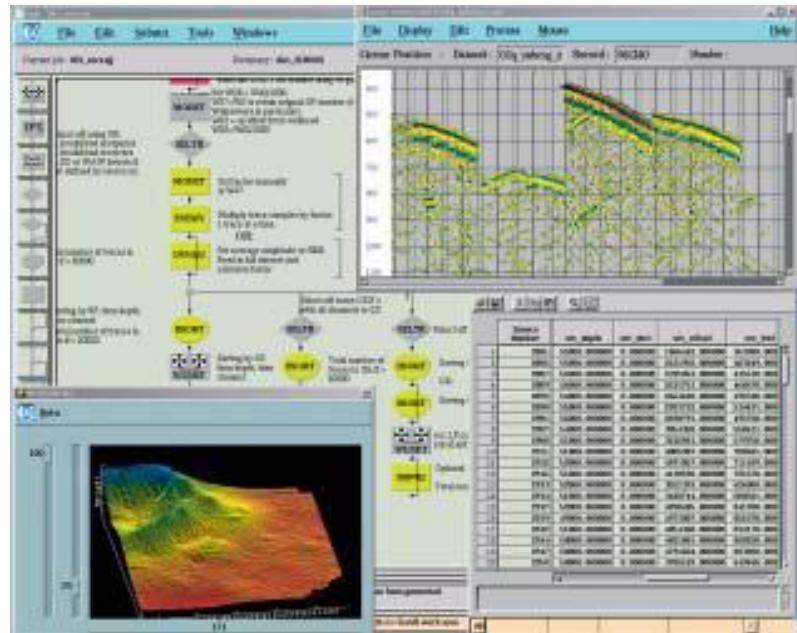
В дополнение к дефициту соответствующих программных средств, компаниями по обработке ВСП было обнаружено, что общепринятые методики наблюдения, такие как продольное, непродольное и уровневое ВСП, плохо справляются с большими объемами данных.

Традиционные системы обработки данных ВСП работали в диалоговом режиме. Из-за малого объема полевых материалов, эти системы создавались с интерактивной визуализацией каждого этапа обработки, всех входных и выходных данных для каждого модуля. Эта процедура повторялась на каждом шаге обработки. Конечно, эта методика позволяла очень точно и эффективно обрабатывать небольшие объемы данных. Тем не менее, при потоковой обработке информации, интерактивный режим обработки становится неэффективным.

Все упомянутые недостатки стандартного ВСП стали причиной того, что производственный цикл ВСП от полевых работ до получения изображения, подлежащего сдаче, стал занимать от 6 месяцев до 1-го года. И это естественно считалось неприемлемым для сейсмической индустрии. Ясно, что новая бизнес-модель должна быть адаптирована для обработки сервисными компаниями с целью извлечения прибыли из метода 3D ВСП.

В феврале 2003 года эта проблема стала главной причиной образования компании VSFusion, совместного венчурного предприятия между Baker Hughes и Compagnie Generale de Geophysique (CGG), предлагающего выполнение полевых работ по скважинной сейсморазведке, обработку, интерпретацию и комплексирование. Новая компания является связующим звеном между скважинными данными, наземной сейсморазведкой и геофизикой резервуара, предлагая специальный комплекс обработки ВСП, AVO, мониторинг и выявление разломов, периодические наблюдения ВСП.

Имея доступ к ресурсам как Baker Hughes, так и CGG, VSFusion быстро начала работы, направленные на материально-техническое обеспечение производства, разработку технического и программного обеспечения, связанного с особенностями ВСП. Программный пакет VS3 компаний VSFusion – это система комплексной



**Рис.4.** Система Geocluster компании CGG способен быстро и эффективно обрабатывать огромные объемы данных. CGG содержит длинный перечень процедур обработки сейсмических данных, включая специальные модули обработки скважинной сейсморазведки.

## Скважинная и нетрадиционная сейсморазведка

эффективной обработки трехкомпонентного 3D ВСП, характеризующаяся высокой разрешающей способностью сейсмических данных, отвечающей современным запросам. Чтобы объяснить процесс обработки 3D ВСП, мы можем грубо разбить его на 4 главных этапа: построение и обоснование модели, предобработка, пространственная миграция и получение изображения.

Предполевое моделирование – ключ к успеху любых работ ВСП, как 2D, так и 3D. Без надлежащего проектирования съемки, целевая площадь может быть не вполне правильно обследована. Чрезвычайно важно смоделировать самую точную 3-х-мерную скоростную модель перед началом полевых работ. В построении модели должна быть задействована вся возможная геолого-геофизическая информация. VSFusion применяет автоматизированную систему обработки 3D ВСП, спроектированную GeoTomo в VS3 для комплексного моделирования. Используя VS3 можно быстро строить и модифицировать 3-х-мерные модели. Наиболее подходящая схема расположения ПВ при разведке методом ВСП может быть проверена трассированием лучей и методом конечных разностей. Синтетическая модель ВСП строится только после получения данных 3D ВСП для уточнения модели и проверки данных.

Как только данные 3D ВСП записаны, они поступают на обработку в программу CGG Geoclaster. Geoclaster является удобным в понимании программным пакетом для обработки больших объемов данных. Практически каждый модуль обработки может представить 3D данные ВСП в 3-х-мерном изображении. В добавление к стандартным инструментам обработки, CGG Geoclaster содержит целый ряд специальных модулей обработки данных скважинной сейсморазведки, требующихся для ориентации многокомпонентных данных ВСП и разделения полей нисходящих и восходящих волн. Сочетание в одном программном пакете процедур обработки и наземных, и скважинных данных позволяет VS3 эффективно обрабатывать и получать изображение больших объемов данных 3D ВСП. В процессе обработки геофизики VSFusion тщательно анализируют все три компоненты сеймоприемников. Благодаря трехкомпонентной записи можно быть уверенным, что зарегистрирован полный вектор сейсмического сигнала. В зависимости от конечной цели (построения изображения по P- или S-волнам) данные тщательно обрабатываются для получения поля восходящих волн, после чего они готовы к 3D-визуализации.

В процессе обработки данных ВСП в программном пакете Geoclaster, геометрические координаты ПВ и ПП и времена прихода волн быстро переводятся в подсистему VS3 для моделирования. Кинематическое моделирование томографии 3D используется для сравнения истинных времен прихода волн по данным ВСП и времен, рассчитанных по синтетической модели с помощью априорных скоростей, и, исходя из этого, доработки конечных скоростей. Использование информации о времени прихода волн позволяет найти наиболее точные параметры скоростной модели. Так как миграция является основным глубинным преобразованием, использующим скорости для построения изображения, достоверное определение скоростной модели – особо важный этап обработки.

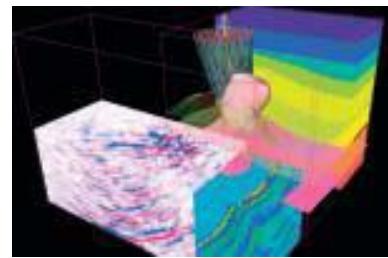


Рис.5. Изображение кубов данных ВСП.

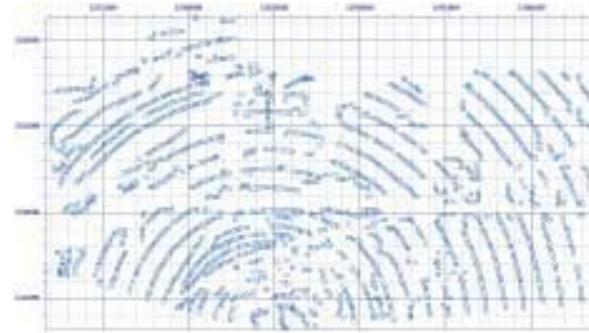


Рис.6. Схема расположения ПВ ВСП на Винтонском поднятии

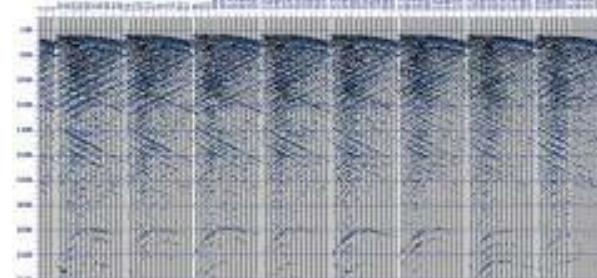
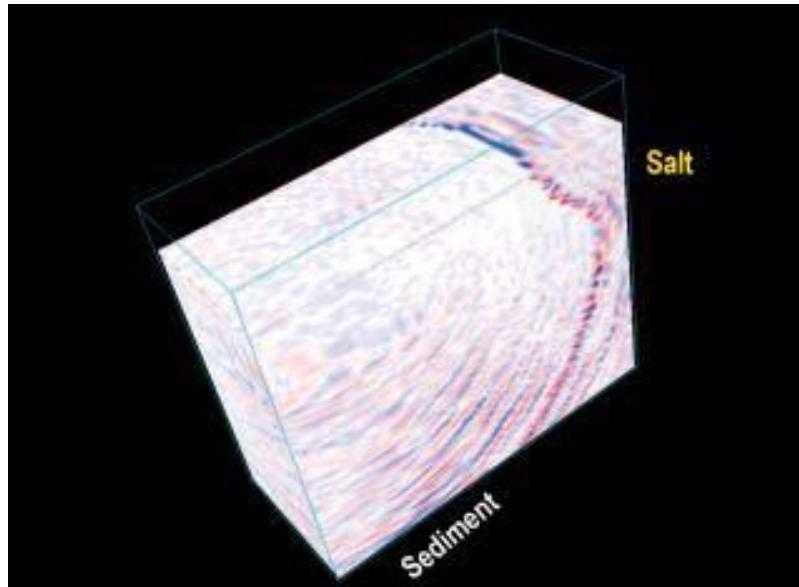


Рис.7. Частичные результаты пространственной миграции, вертикальная компонента, SS-волны наблюдаются между 2.2-2.4 сек.

Важнейшей частью любого обрабатывающего ВСП программного обеспечения является глубинное миграционное преобразование. Для того чтобы воспользоваться полным вектором записанного трехкомпонентными приемниками сейсмического сигнала, все данные должны быть мигрированы. Существующие программы миграции визуализируют либо одну компоненту данных, либо, если они приспособлены для работы с многокомпонентными данными, показывают каждую компоненту отдельно и ненаправленно. А ненаправленное изображение означает, что каждый отсчет данных распределяется равномерно по сфере дифракции 3D. Поэтому вступления волн не правильно устанавливаются в пространстве, что вызывает большую неоднозначность при последующей интерпретации данных. Для решения этой проблемы VSFusion разработала программу направленной векторной 3D миграции.

## Скважинная и нетрадиционная сейсморазведка

**Рис.8.** 3D изображение мигрированных данных ВСП, выступающие границы солевых отложений, установленные по поперечным волнам, и отражающие границы осадочной толщи для продольных волн.

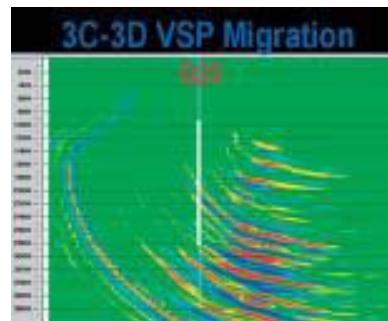


После тщательной предобработки по устраниению всех нежелательных типов волн, каждый отсчет трехкомпонентных данных обрабатывается с помощью направленной миграции и соотносится только с первоначальной ориентацией либо азимутальным положением. В отличие от общепринятой миграции 3D ВСП, направленная обработка всех трех компонент позволяет получать полную амплитуду в точке изображения. В добавление к правильному осуществлению миграции, направленная миграция включает азимутально-наклонный фильтр, позволяющий подавить нежелательные волны для определенного наклонного пласта или некоторого азимута. Это свойство может ограничить имеющуюся апертуру при графическом отображении и очень полезно при настройке изображения площадей сложной структуры.

После запуска 3D ВСП миграции выходное изображение перемещается в модуль VS3 3D Viewer/Presentation. Модуль «презентация» может формировать изображение данных 3D ВСП и совмещать их со скоростной моделью и параметрами, полученными из ГИС. Другие 3-х-мерные сейсмические данные, такие как наземные или перекрывающиеся данные ВСП также могут быть одновременно отображены.

### Пример из практики.

Винтонское антиклинальное поднятие находится в Calcasieu Parish, штат Луизиана, США. На площади преобладают большие соляные диапирсы, внедрение которых привело к образованию ряда нефтяных ловушек. В 1998 г. одновременные работы 3D ВСП и наземной сейсморазведки были проведены здесь компанией Орех. Данные 3D ВСП были записаны с использованием 80 трехкомпонентных скважинных сейсмоприемников, которые были плотно прижаты к скважине. В качестве источников использовались вибраторы продольных волн.



**Рис.9.** Мигрированная сейсмическая граница солевых толщ, полученная с использованием SS-волн методом ВСП, и осадочного слоя, полученная с использованием PP-волн модулем 3D Vector Migration, глубинный разрез, 2D изображение.

Схема расположения ПВ работ 3D ВСП частично представлена на рис.6. Одной из целей сейсмических наблюдений было установление границ осадочных соляных пород. Анализ трехкомпонентных данных ВСП, записанных на северо-западе от скважины, не выявил поддающихся определению отражений продольных волн от границ солевых интервалов. Тщательный анализ данных показал четкую обменную S-волну, видную на вертикальной компоненте данных, записанных при ПВ на северо-западе от скважины (рис.7). После выделения этой волны изображение оси синфазности отраженной поперечной волны было сформировано в VSFusion с помощью пространственной направленной миграции. Результатом является ошеломляющее изображение выступающей отражающей границы NE соляных отложений. Расположение границы, определяемое по скважинным данным, хорошо сочетается с предполагаемой по наземной сейсморазведке границей.

## Скважинная и нетрадиционная сейсморазведка

Отражающие границы для продольных волн были изображены отдельно. Все доступные дополнительные типы данных, такие как расположение скважины, координаты источников и приемников могут быть введены и использованы при интерпретации результатов обработки (Рисунки 8-9)..

### **Литература**

Constance, P. A. et al. [1999], Simultaneous acquisition of 3-D surface seismic data and 3-C, 3-D VSP data, 69th Annual International Mtg: Society of Exploration Geophysicists. *Expanded Abstracts*, 104-107