

Мишин В.А., Александров С.И., Перепечкин М.В., ОАО «ЦГЭ», г. Москва

Введение.

Метод вертикального сейсмического профилирования (ВСП), основанный Е.И. Гальпериным, занимает самостоятельную нишу в полевых и разведочных работах на нефть и газ.

Первые модификации ВСП с нулевым выносом и однокомпонентной регистрацией решали кинематические задачи на линии вертикального профиля и выступали лишь как вспомогательный инструмент для анализа волнового поля и привязки отражений. Подразичное направление ВСП, основанное на многокомпонентной регистрации, позволило перейти к решению динамических

задач в их многовариантной постановке.

По мере совершенствования аппаратурной базы менялся и подход к проектированию систем наблюдений.

Удаление источника от устья скважины привело к созданию модификации «непродолного», а в случае нескольких пунктов взрыва «мультисистемного» ВСП. Это направление уже решало геометрические задачи, связанные с построением разреза в окрестности скважины.

К системам такого типа относятся «уровненые» наблюдения или наблюдения обрабатываемого горизонта, когда несколько положений приемника в скважине соответствуют профилю пунктов взрыва на

поверхности. Наиболее полная модификацией описанной геометрии являются методики ВСП ОТС (Walkaway), когда применяется полноценная регистрация по стволу скважины.

Однако, пространственная асимметрия геологических объектов, вызванная тектоническими нарушениями либо латеральным замещением пород, резко снижала эффективность профильных наблюдений, которые не давали представления о морфологии объекта в пространстве. Поэтому дальнейшее развитие систем наблюдений ВСП было связано с желанием получить в окрестности скважины полноценные объемные изображения. И введя за наземной сейсмозащедкой ВСП перешло к модификации 3D.

Понятие 3D ВСП в его плоской модификации (плотное) означает континуальное (плотное) распределение источников в окрестности скважины. Планирование таких систем происходит по законам 3D сейсмозаведки, наблюдения зачастую проводятся синхронно с наземной расстановкой, а методика обработки предполагает трехмерные алгоритмы (Рис.1).

Отличительным первополом площадных скважинных наблюдений стал Г.А. Шехтман. В 1993 году им были доложены результаты эксперимента, проведенного в Казахстане на участке Кожасай. В результате анализа срезов глубинного мигрированного куба в целевом геологическом интервале тогда удалось решить ряд геологических задач, в частности, определить наклон отражающих границ и провести стратиграфическую привязку горизонтов в пределах соленосной толщи.

Первый эксперимент по 3D ВСП за рубежом был проведен компанией АGR на месторождении Brenda восьмьюлетним

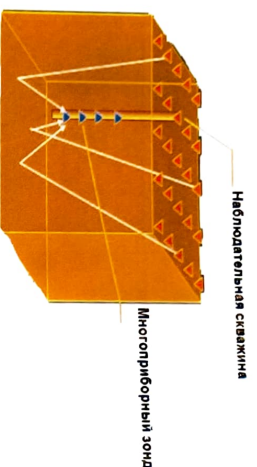


Рис. 1. Общая схема наблюдений 3D ВСП

Загрузка данных 3 D VSP в базу данных системы MainVSP		
Контроль качества данных	Обработка некачественных данных	
Автоматизм прямых волн		
Расчет параметров азимутальной ориентации	Вращение 3-х записей с приведением их к лучевым плоскостям	
Определение статистических поправок для ПВ	Ввод статистических поправок	
Корректирующая фильтрация		
Селекция продольных и обменных волн		
Построение исходной плоской скоростью модели	Расчет синтетических сейсмограмм	Уточнение скоростью УТТ-модели
Построение кубов при помощи лучевой миграции данных 3 D VSP для Р- и Рs-волн		
Анализ плотности покрытия лучей для целевого горизонта		
Визуализация и анализ сейсмических изображений		

Рис. 2. Граф обработки данных 3D ВСП в системе Multi VSP

зондом. Далее, работы проводились компаниями Phillips Pet (Ekofisk K-17), Shell (Brent), Norsk Hydro (Oseberg), PanCanadian (Blackfoot), British Petroleum (Magnus Field), Chevron† (Lost Hills Field, California), Output Expl. Inc. (S. Louisiana, Salt Basin), Crestar Energy (Coyote, Alberta), British Petroleum (Gulf of Mexico), а также рядом других компаний. По мере развития элементной базы увеличивалась и каналность зонда, которая в некоторых проектах достигала нескольких сотен точек.

К настоящему времени практика выполненных работ по 3D ВСП позволяет очертить круг задач, решаемых данным методом:

- повышение разрешенности сейсмических изображений за счет регистрации во внутренних точках среды;
- получение сейсмической информации в условиях соляно-купольной тектоники, когда подсолевые отражения маскируются покрывающей толщей;
- получение изображений при наличии сильно контрастных включений (базальты, ангидриды), являющихся причиной образования многократно отраженных волн;
- построение кубов данных по волновым модам различного типа – PP, PS, SP, SS;
- построение более точной скоростной модели (в сравнении с ОГТ) в окрестности скважины, что приводит к улучшению качества глубинных построений;
- получение надежных оценок параметров анизотропии.

Не смотря на то, что методика 3D ВСП приобрела в настоящее время производственный характер, существует пробел в организации процесса обработки. Обычно обработка данных такого типа проводится либо на основе автономных программ, либо путем приспособления для этой цели стандартных технологий ВСП и ОГТ. При этом граф обработки содержит многочисленные преобразования данных из одного формата в другой. Трудности возникают также на этапе совместной интерпретации кубов ВСП и ОГТ. Все это в итоге сказывается на окончательной стоимости работ и сроках выполнения контрактов, которые занимают от нескольких месяцев до года.

Программно-алгоритмическая база также нуждается в обновлении. Алгоритмы контроля качества, скоростного анализа и продолжения волновых полей, взятые из стандартных пакетов, зачастую не удовлетворяют требованиям обработки скважинных данных.

По этим причинам стала актуальной зада-

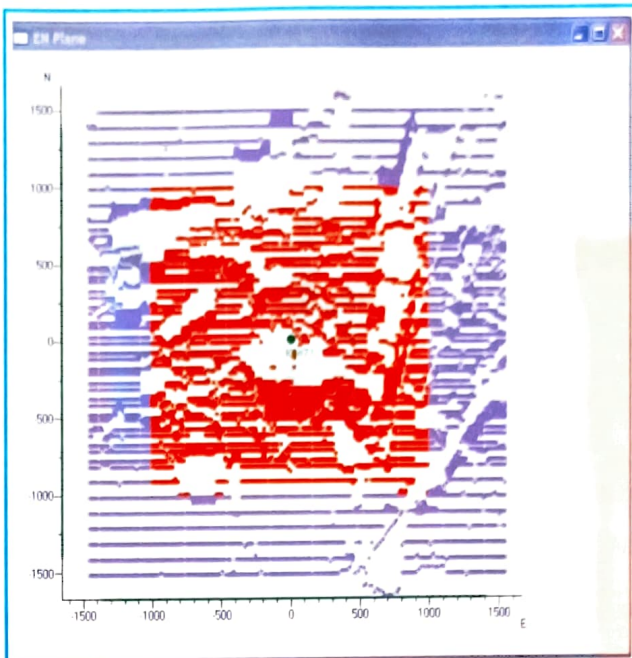


Рис. 3. Схема полевых наблюдений 3D ВСП на месторождении Шенли (КНР) (Красным цветом показана область пунктов взрыва, выбранная для миграции)

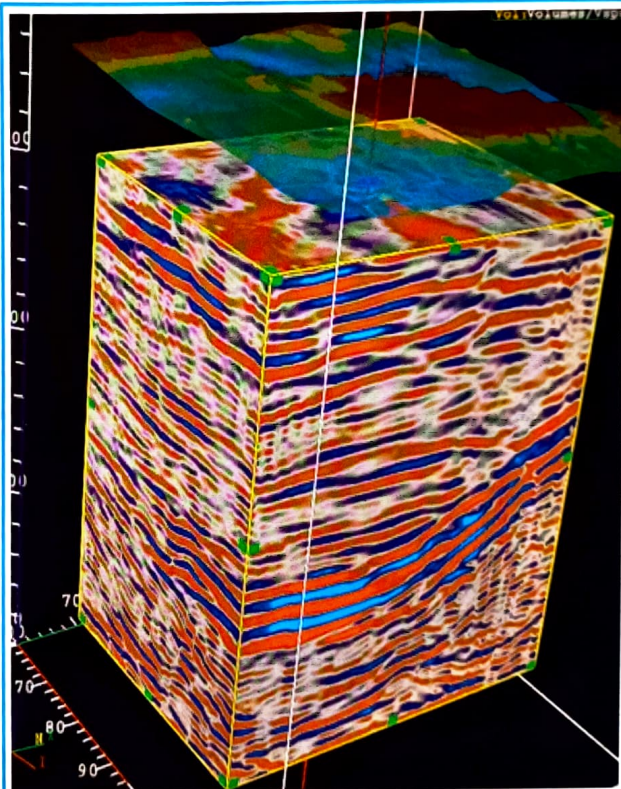


Рис. 4. Представление мигрированного куба данных 3D ВСП в системе Multi VSP

ча создания новой специализированной системы, способной повысить уровень автоматизации обработки и интерпретации данных 3D ВСП.

Системы и граф обработки данных.

Примером такой системы может служить комплекс Multi VSP, созданный в последние годы в ЦГЭ на платформе Windows. Основными чертами системы являются:

- идеология «Клиент-Сервер» с возмож-

ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

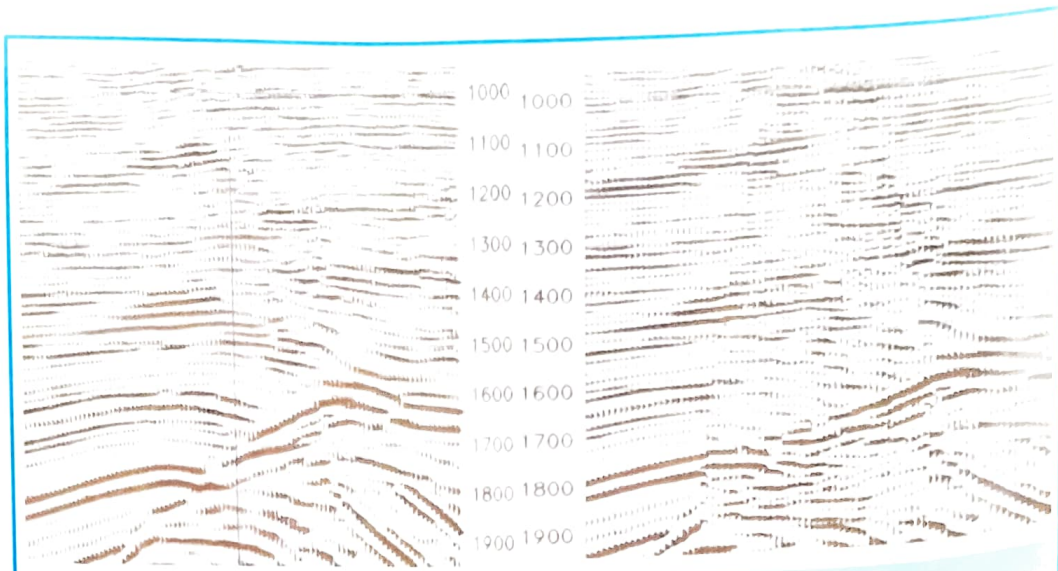


Рис. 5. Сравнение сечений кубов ОГТ(слева) и ОГТ+ВСП. Направление Юг-Север

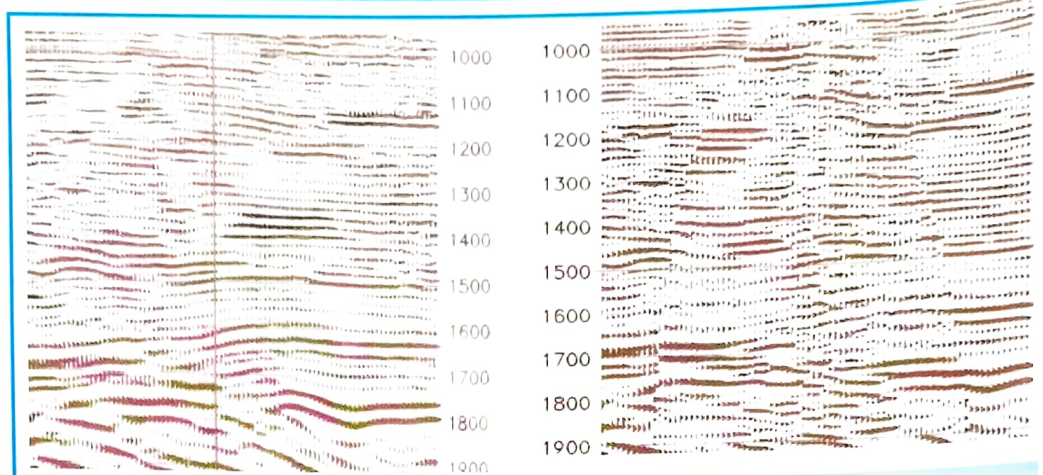


Рис.6. Сравнение сечений кубов ОГТ(слева) и ОГТ+ВСП. Направление Запад-Восток

- поддержкой многопользовательского интерфейса;
- поддержка баз данных стандарта ODBC;
- универсальная загрузка и выгрузка данных формата SEG-Y;
- возможность организации параллельных вычислений.

Перечисленные черты системы позволяют организовывать произвольные запросы к базе данных и на основе этого разрабатывать алгоритмы практически любой степени сложности.

Рассмотрим граф обработки данных 3D ВСП, реализованный в системе Multi VSP (Рис. 2).

Основные процедуры графа были описаны в работах [1, 3]. Здесь мы акцентируем внимание на алгоритмах продолжения волновых полей, имеющих решающее значение на заключительной стадии обработки.

Алгоритмы миграции данных 3D ВСП

В работе [1] был предложен практический алгоритм миграции данных 3D ВСП, основанный на методе энергетического хеширования. Смысл метода заключается в предварительном оценивании области фокусирования для избегания эффектов, связанных с «размазыванием» сигнала. (Smile эффект). Эта проблема особенно актуальна в 3D ВСП, так как размер пространственной апертуры в

несколько раз превосходит размер зоны фокусирования.

Опробование метода на реальных материалах показало его работоспособность в условиях спокойной геологии. Неустойчивость возникла при наличии сложной модели среды, к каковой можно отнести геологию месторождения Шенли (КНР). Причина неустойчивости – в неадекватности VTI модели, применяемой при реализации метода, реальной скоростной модели.

Преодолевать возникшие трудности путем разработки программ трассирования луча в произвольной среде оказалось делом чрезвычайно дорогостоящим. Кроме того, известные ограничения лучевого метода при наличии зон разломов не давали надежду на улучшение ситуации.

В итоге, задача построения изображения в около-скажинном пространстве для данных полевого эксперимента, рассмотренного ниже, была решена с привлечением аппарата миграции на основе волнового уравнения.

В целом, алгоритм миграции может рассматриваться как модификация метода фазового сдвига, предложенного Gazdag [2].

Применим принцип взаимности к системе наблюдений 3D ВСП (Рис.1). Теперь каждый приемник может рассматриваться в качестве источника, а пространственная назем-

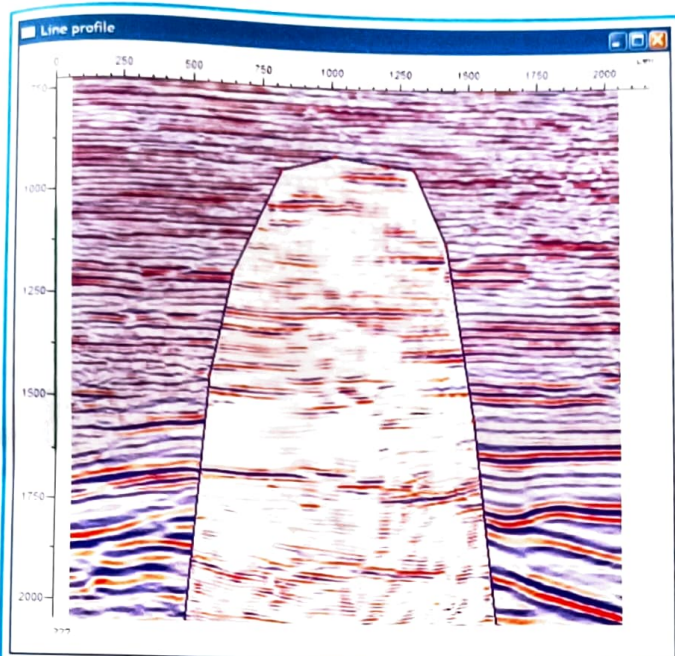


Рис. 7. Аппликация разреза 3D ВСП в разрезе ОГТ, Юг-Север

ная апертура может быть отнесена к базе приема. Тогда продолжение волнового поля с поверхности вовнутрь среды может быть представлено в спектральной области как

$$D(k_x, k_y, z_{i+1}, w) = D(k_x, k_y, z_i, w) * e^{ik_z \Delta z},$$

здесь:

$D(k, z, w)$ – пространственно-временной спектр волнового поля на глубине Z

k_x, k_y, k_z – пространственные волновые числа;

ω – круговая частота;

Z_i, Z_{i+1} – начальный и конечный уровни пересчета поля;

А результирующее поле на глубине Z , согласно общим принципам миграции, представляется как

$$I(x, y, z) = \int_{w_1}^{w_2} G(x, y, z, w) * D(x, y, z, w) * dw$$

где:

$G(x, y, z, w)$ – функция Грина источника, расположенного в скважине;

$[w_1, w_2]$ – рабочая полоса частот.

Таким образом, окончательный результат миграции может быть получен суммированием полей для всей совокупности источников.

Обработка реальных данных

Рассмотренный способ миграции был применен к обработке данных полевого эксперимента 3D ВСП, проводимого синхронно с наземной 3D сейсморазведкой высокого разрешения на нефтяном месторождении Шенли (провинция Шандунь КНР).

Несмотря на хорошую изученность месторождения, местные геологи надеялись получить дополнительную информацию от ВСП.

Наблюдения проводились 14-ти канальным зондом, расположенным на глубинах 830-930 метров. Целевым интервалом для ВСП считался интервал от 1500 до 2500 метров.

Схема наземной расстановки приведена на рис 3. Общая площадь пунктов взрыва составляла 9 км², а число ПВ равнялось 7074.

Обработка, проводимая по вышеуказанному графу, позволила выбрать оптимальную область для миграции, удовлетворяющую необходимому уровню сигнал /помеха. Эта область отмечена красным цветом и составила площадь около 4 км².

В качестве опорной скоростной модели была выбрана модель интервальных скоростей, полученных при обработке ОГТ, которая потом уточнялась. Оптимальными параметрами для миграции оказались следующие:

- шаг по пространственным координатам – 20 метров;
- шаг по глубине – 5 метров;
- полоса частот 5-90 Герц.

Далее приводятся результаты обработки 3D ВСП в сравнении с наземной сейсморазведкой.

На рис.4 показан общий вид мигрированного куба 3D ВСП в системе Multi VSP. Далее приведено сечение inline(направление Юг-Север) и crossline (Запад-Восток), проходящее через основную разломную зону (Рис.5-6). Здесь показана хорошая динамическая выраженность основного нарушения и совпадение основных опорных горизонтов с разрезом ОГТ.

На рис. 7 приведена цветная аппликация разреза ВСП в разрез ОГТ, выполненная в системе MultiVSP.

Выводы.

Продемонстрирована работа системы обработки данных 3D ВСП MultiVSP

Показана работоспособность алгоритма миграции на основе волнового уравнения в условиях сложно-построенных сред при наблюдениях 3D ВСП.

Проведено сравнение кубов данных 3D ВСП и ОГТ в окколесважинной зоне, позволяющее заключить следующее:

- разрезы ВСП выигрывают по параметру вертикальной разрешенности записи;
- разрезы ОГТ более информативны в глубинной части записи по параметру горизонтальной разрешенности, что объясняется сглаживающими факторами обработки ОГТ;
- мигрированный куб 3D ВСП содержит дополнительную геологическую информацию в условиях сложно-построенных блоковых структур;
- для улучшения горизонтальной разрешенности глубинного куба 3D ВСП необходимо увеличить число приемных каналов зонда.

Литература

1. Massive 3D VSP data migration with energy hashing technique, Mishin V.A. et al., EAGE workshop, Saint-Petersburg, September, 2006
2. Migration of seismic data by phase shift plus interpolation. Gazdag J. & Sguazzero P, Geophysics, V31, 124-131.
3. Практические методы миграции данных массивного 3D ВСП. Мишин В.А., Александров С.И., Кивелиди В.Х., Перепечкин М.В., Гальперинские чтения, Москва 2006, материалы конференции.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОГРАММНОЕ