

Геофизические исследования
коллектораПланирование оптимальной 4D съемки приносит
плоды

В данном обзоре рассматривается 4D съемка на примере работ на шельфе Норвегии. Кейт Ватт (Keith Watt) и Гавин Патиссон (Gavin Pattison), I/O company Concept Systems проводят анализ проблем планирования 4D съемки с целью контроля над разработкой.

4D начало свою жизнь как исследовательский проект в геофизической области, однако реальная выгода в итоге досталась ученым, изучающим коллектора. За последние несколько лет специалисты, занимающиеся разработкой месторождений, начали понимать все преимущества и возможности, которые открывает 4D, для оптимизации программ контроля над месторождением. Объединенная конференция SPE и EAGE «Что инженеры-нефтяники ожидают от сейсмического мониторинга?» и «Ответят ли геофизики на правильные вопросы?», которая состоялась в марте этого года, помогла собраться двум обществам вместе и выработать общий подход к пониманию технологии 4D.

Ключевой проблемой съемок 4D является получение данных необходимого качества, которое обеспечивает надежное представление об изменении поведения коллектора во время его эксплуатации. Для морских измерений 4D, которые используют буксируемую сейсмическую косу, эта проблемой является повторяемость измерений, т.е. отклонение положения косы от среднего значения при проведении съемки, к чему Concept Systems обращается уже несколько лет. Компания, принявшая участие более чем в 40 съемках, имеет достаточно информации, для определения первопричины основных ошибок, связанных с буксированием длинных кос и с разницей между положением источников/приемников при мониторинге и при базисных исследованиях.

Для минимизации ошибок, связанных с положением источников/приемников, прежде всего, необходимо их измерить. В 2001 году Concept совместно с Shell Expro начали исследовательский проект, цель которого заключалась в разработке программного обеспечения для измерения позиционных ошибок при 4D съемках и сопоставления их с данными сейсморазведки, прошедшими обработку. Итоговая технология «стабильности позиционирования» была успешно использована в программе по оптимизации/контролю качества 4D измерений, проведенной Shell на Северном море в 2002 году и для осуществления 4D загушения.

Приобретенный в этих работах опыт позволил предсказывать возможные проблемы соблюдения положения источников/приемников на стадии планирования съемки 4D. Измерение отклонения от среднего данных повторяющихся измерений 4D на ранних этапах привело к значительному улучшению качества данных. Хотя необходимо помнить, что всегда ищется компромисс между соблюдением повторяемости и стоимостью измерений. В данной статье мы подробно рассмотрим применение новой технологии в разработке и планировании проекта 4D.

Планирование программы 4D

4D, как развивающаяся технология, требует тщательного поиска наиболее подходящего решения для каждой конкретной ситуации. Обычно ищется компромисс между удовлетворительным качеством данных 4D и стоимостью проведения работ.

Для его нахождения проводят первичный анализ исходных данных 4D для учета всех особенностей, связанных с планированием мониторинга, цель которого - достижение оптимальности проведения съемочных работ.

Кроме того, тщательно контролируется сам процесс выполнения съемок 4D, чтобы ни в коей мере не допустить отклонение его от установленного плана.

Наш опыт, который очень важен нашим партнерам, вовлеченным в проект, дает нам уверенность в оптимальности получаемых результатов. Как пример, можно привести съемку 4D на месторождении Statfjord Nord, законченную Statoil в мае 2004 года. В этом проекте Concept принимал участие в планировании и проведении измерений вместе со Statoil и CGG.

Для знакомства с проектом Statoil передал нам ключевые характеристики съемки. Они включали в себя исходные позиционные данные, исходные параметры измерений, глубинные целевые объекты, глубинные разломы, листы графов обработки, границы полной кратности, детали бинирования грида, геодезические параметры и предполагаемые параметры будущих измерений. Базисные данные будут накапливаться, по крайней мере, два-три года, прежде чем начнется съемка для мониторинга. В случае Statfjord было именно так. В первую очередь были сопоставлены старые и новые данные и приведены графические и табличные сводки для дальнейшего планирования. Все результаты были переданы Statoil и CGG.

Обзор базисных данных

Первый этап разработки и планирования 4D – обзор базисных данных. Проводимый при этом анализ позволяет сделать необходимые выводы о дальнейшем планировании съемок 4D. В зависимости от характера базисных данных могут существовать разные фундаментальные концепции картирования. К примеру, съемка может изначально являться частью региональных исследовательских работ или быть специальными пробными сейсморазведочными работами, не предназначенными для получения изображений целевых объектов коллектора. Эти примеры показывают, что не любая съемка может быть использована как базисная для работ 4D. В таких случаях необходимо найти (или создать) новые базисные данные. Если же имеющиеся данные обеспечивают удовлетворительное отображение коллектора, то тогда можно приступать к анализу информации, необходимой для планирования съемок мониторинга.

На пример в проекте Statfjord Nord, данные о положении косы были помещены в систему бинирования. Это обеспечило визуальный контроль наличия всех данных и возможности дополнения новой съемки использовавшимися ранее параметрами бинирования. Далее, был получен и сопоставлен с контрольными листами обработки заключительный список линий, содержащий имя, номера пунктов взрыва и пунктов приема. Найденные расхождения в данных были устранены, что позволило быть уверенным, что только базисные данные сейсмической съемки будут рассматривать при повторных съемках 4D. С этой же позиции были проанализированы другие характеристики съемки, такие как повторные уточняющие работы (27% от первоначальной съемки) и направление профилей загушения линий.

Геофизические исследования коллектора

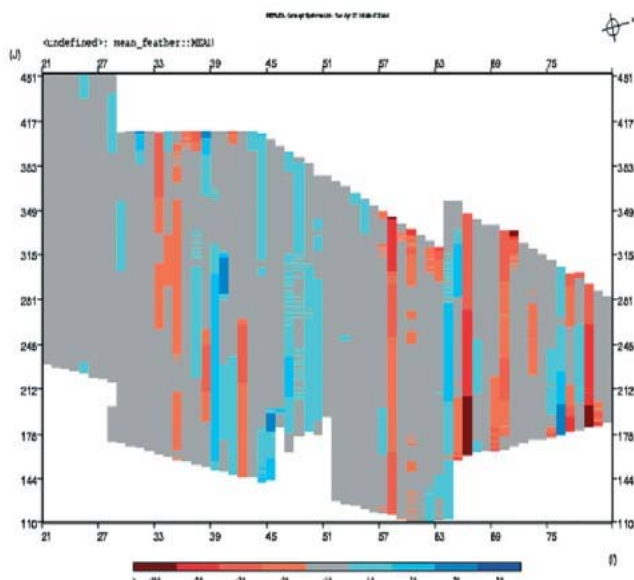


Рисунок 1 Отклонение косы из-за течения в базисных данных

Из базисных данных было исключено отклонение сейсмической косы, связанное с течением. Построение траектории движения источника, сетка бинирования и (рисунок 1 и 2) были созданы вместе с поверхностью границ, глубинными целевыми объектами и наложением поверхностных препятствий. Эти изображения были помещены на вебсайте, доступ к которому обеспечивался персоналу компаний Statoil и CGG, как наземным, так и морским отделениям. Опыт, полученный при работе с созданным форумом, содержащим информацию об измерениях на ранних этапах, позволил понять природу процессов и достичь большей вероятности успеха проекта в будущем.

После обзора базисных данных последовали более детальные запросы. Расстояние между источником/приемником составляло 175м. Анализ всей съемки подтвердил, что отклонение от заданного значения на протяжении измерений находилось в пределах $\pm 2\%$. Любые несоответствия приходилось выделять, чтобы объяснить возможное отклонение положения косы от среднего значения при проведении повторяющихся измерений, т.е. повторяемости. Шаг пункта взрыва, порядок отстрелов и неизменность расположения

расстановки также подвергались контролю, что позволило определять все стандартные ошибки, такие как, например, пропущенные пункты взрыва. Целью всех проводимых действий является дополнительная коррекция плана проведения съемки.

Планирование мониторинга

Прежде всего, необходимо было определить задачи базисных измерений. Далее составлялся план мониторинга. Этот процесс заключался в обзоре проблемных участков, найденных при обзоре базисных наблюдений совместно с экономическими и производственными соображениями о проведении съемки. В случае проекта Statfjord Nord обзор базисных данных и накопленная дополнительная информация позволили обеспечить достоверность на окончательном этапе планирования. Как и в любой съемке данного типа, ищались компромиссные решения между минимальным отклонением положения косы от измерения к измерению, т.е. повторяемостью, и стоимостью работ.

Проведенный анализ параметров базовых измерений, относящихся к ним профилей, направлений, глубинных целевых объектов и изменения положения косы, вследствие течения, и сопоставление всего этого с аналогичной информацией, полученной из мониторинга, позволил разработать предварительный план съемки, удовлетворяющий всем положениям. Он определял, какие из профилей необходимо объединить, в каком направлении следовало бы производить взрывы, и какая дополнительная информация могла бы потребоваться в поле. Ключевые аспекты плана этой съемки следующие:

- Использование дополнительных кос для увеличения покрытия. Данный шаг позволил сократить вероятность повторного проведения взрывов для поддержания кратности, и повысил устойчивость заданной траектории косы, несмотря на эффект сноса, вызываемый течением
- Значительно большее количество линий взрыва в одном направлении, чем в обратном. Хотя общее время съемки

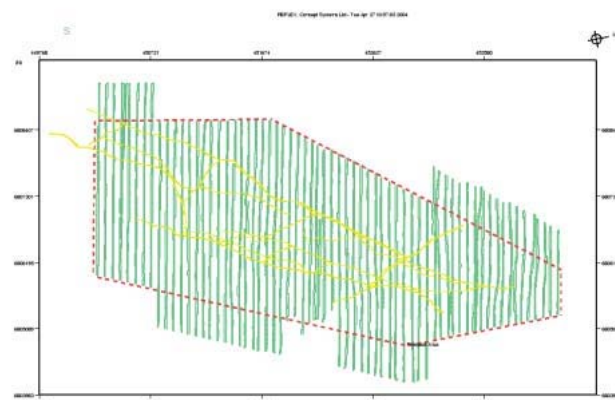
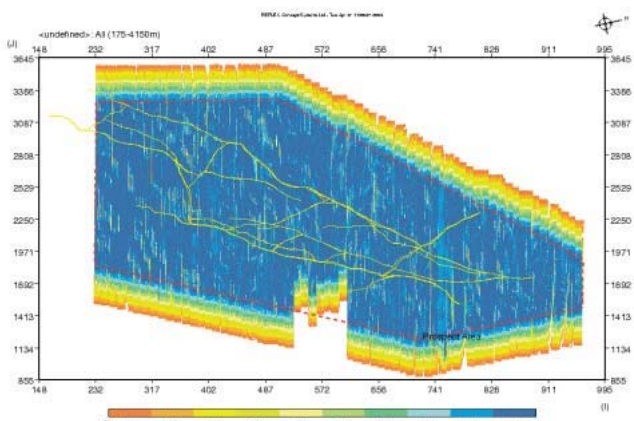


Рисунок 2 Покрывтие и направление перемещения источника в случае базисных исследований

Геофизические исследования коллектора

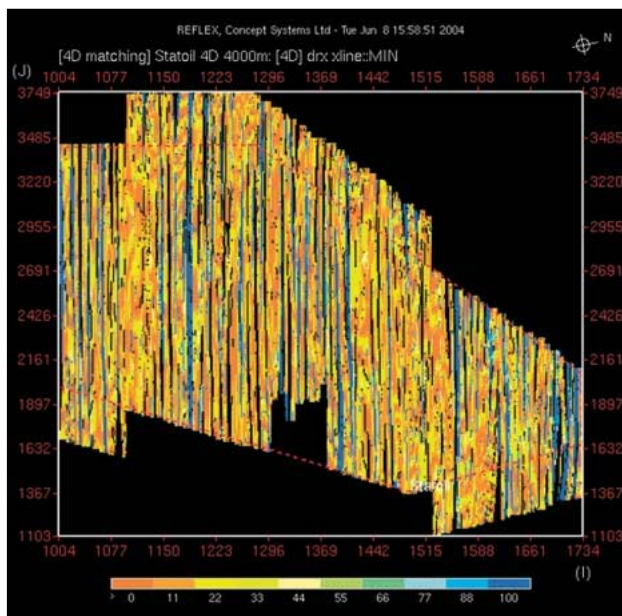
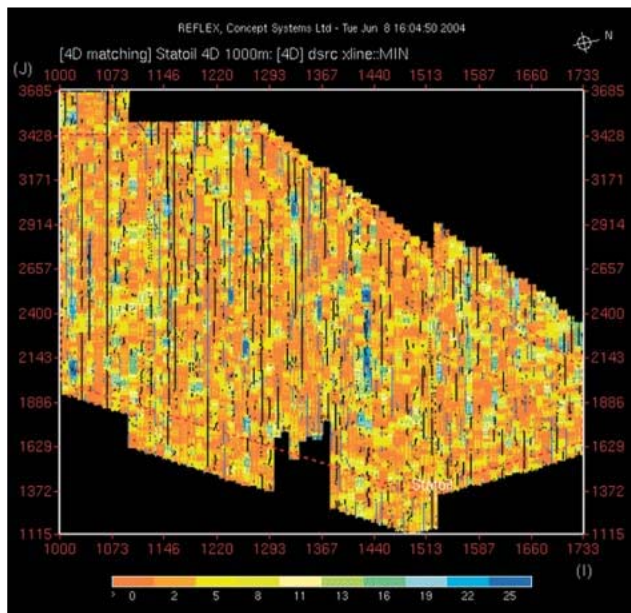


Рисунок 3 Разница между источниками кросслайн (слева), и приемниками кросслайн (справа) на удалениях 4 км.

увеличилось, однако, была также улучшена стабильность положения косы от измерения к измерению, т.е. повторяемость.

■ Базисная съемка проводилась на территории, на которой находилась буровая вышка. Впоследствии она была перемещена, поэтому съемка не могла быть повторена абсолютно точно. Данный факт заставил внести уточнения в проектирование профилей измерений.

Некоторые профили по основным линиям пришлось объединять с профилями повторных съемок, что было сделано для оптимизации повторяемости, как для основных, так и для повторных линий. Объединение было разработано таким образом, чтобы оказать минимальное воздействие на повторяемость, однако при этом быть реалистичным. Компания CGG получила консультации по поводу «переходных зон»: расстояние между линиями, которые планировалось объединить, выбиралось таким образом, чтобы поперечные подвижки в направлении, перпендикулярном линии, были минимальны и не воздействовали бы на повторяемость источника и изменения положения косы из-за течения. Для каждой линии были созданы новые имена, согласованные со Statoil, и соответственно отрегулированы прогоны. Последовательность взрывов документировалась для уверенности, что возбуждение типа 'flir/flop' при базисных съемках осталось того же типа 'flir/flop' при мониторинге. Расположение источников для разработанного мониторинга и отклонение косы вследствие течения были подвергнуты «контролю качества» в поле для обеспечения безотказности измерений.

К примеру, если стрельба велась на скорости 2 м/с и между выстрелами расстояние 10 м, то каждый выстрел вам нужно совершать с интервалом 10:2=5 секунд, но цикл составляет 7 секунд. Таким образом, план измерений должен быть изменен в соответствии с обстоятельствами.

Постоянно обновляемый на протяжении съемки список линий, координаты линий и графики отклонения косы от заданного положения в связи с течением помещались на обслуживающий сайт, где были размещены данные по шельфу. Список линий включал общий километраж съемки, что позволило провести оценку стоимости работ (в силу своих особенностей повторяющаяся съемка всегда длится дольше, чем стандартная съемка 3D).

Обеспечение выполнения плана

В этой статье внимание акцентировалось на стадии планирования, но не менее важным является четкое и строгое выполнение этого плана на стадии проведения измерений. Можно ожидать, что в известной степени, план будет меняться, поскольку процедурные вопросы влияют на проект.

Для соблюдения непрерывности и правильности проведения измерений, в поле присутствовали специалисты, которые непосредственно занимались разработкой плана съемки. Их первая задача на борту заключалась в проверке предварительных данных и контроле навигаторов, проводящих съемку 4D. Так как этот тип съемки не является столь привычным и распространенным, необходимо ожидать, что некоторые навигаторы не смогут корректно провести эти измерения, поэтому они должны быть ознакомлены с основными правилами, обеспечивающими максимальную повторяемость для источников и приемников. Во время проведения съемки 4D очень важно оценивать качество измерений и, исходя из этого, вносить изменения для более точной настройки системы. Специалист снабжен пакетом 4D программ, которые позволяют ему оценивать повторяемость 4D и анализировать от профиля к профилю все относящиеся к делу атрибуты.

К таким атрибутам относится анализ отклонения косы от заданного положения, связанный с течением, разница в условиях возбуждения и строгое следование параметрам бинирования. Каждый из этих атрибутов должен быть знаком навигаторам, занимающимся стандартной сейсмической съемкой 3D. На рисунке 3 подчеркивается хорошая повторяемость источников, достигнутая при проведении съемки, а также анализируется разница между приемниками на больших удалениях, которая отвечает за влияние сноса косы течением. В дополнение к вышеупомянутому, для повышения надежности предсказания сноса косы из-за течения, используется информация по приливам-отливам, анализ графиков отклонения и наблюдение за положением косы, осуществляемое во время самой съемки.

Геофизические исследования коллектора

Еще одна ключевая задача специалистов 4D заключалась в обеспечении надежности передачи информации. Ознакомляя всех участников с продвижением в сборе данных, обеспечивалась его количественная оценка, что позволяло всегда иметь четкую картину съемки, которая в любое время доступна всем заинтересованным. В задачи специалистов также входило:

- управление данными, что обеспечивало доступность всех предварительных данных планирования съемки для работников на шельфе;
- руководство и информирование их о любых изменениях в первоначальном плане;
- записи всей относящейся к 4D информации, которая могла быть полезна в количественной оценке как текущего, так, безусловно, и будущих проектов.

Выводы

Съемка Statfjord Nord была выполнена к запланированному сроку, и ее стоимость не превысила заложенную бюджетом, в частности благодаря планированию и программному обеспечению для работы с 4D измерениями. В результате совместного использования проектирования съемки и методологии была получена хорошая повторяемость, которая соответствовала желаниям клиента. Рисунок 4 показывает общую повторяемость проекта.

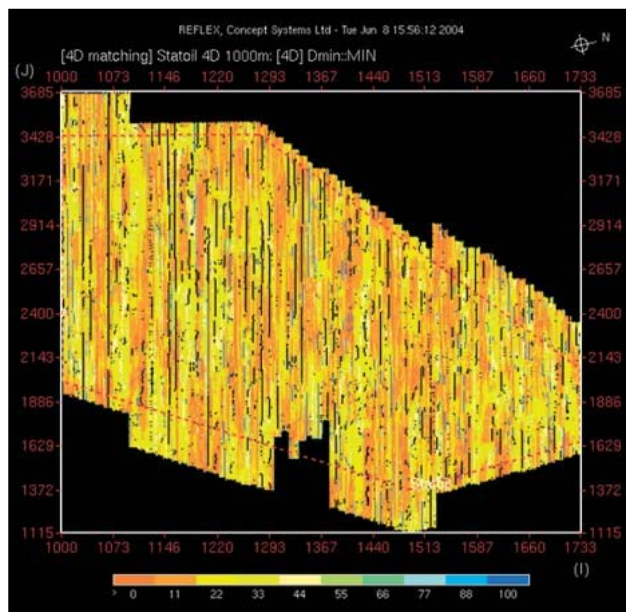


Рисунок 4 Общая повторяемость

Посвятив два последних года работе по планированию и разработке съемки, нацеленной на оптимизацию проведения 4D измерений, мы можем говорить о существенном ее влиянии на качество окончательных данных. Кроме того, при удалении многих источников, не обладающих достаточной повторяемостью, мы имеем дело с «данными, предназначенными для обработки», а не «обработкой, предназначенной для данных». Это уменьшает время и затраты, необходимые на обработку, позволяя быстрее проводить коррекцию многих систематических ошибок. Проведение предварительного планирования съемки наглядно улучшает конечный результат 4D продукта – готового к передаче специалистам по коллекторам.

Благодарности

Мы хотели бы поблагодарить компанию Statoil и ее партнеров за разрешение на публикацию данной статьи.