

Новые разработки в сейсморазведке 4D. Lessons through time in 4D seismic

Michael Tang, Robert Ross, и Robin Walker из WesternGeco обсуждают опыт работы с новой собственной системой, предназначенной уменьшать временной шум посредством повторного точного позиционирования источника и сейсмоприемника по отношению к 4D съемкам прошлых лет.

Рост получения мониторинговых сейсмических данных в течение последних 10 лет огромен. Последний 4D технико-экономический и маркетинговый анализ, проведенный Нефтяным Институтом Франции (IFP), показал увеличение объема рынка (диаграмма 1). В начале 2000 г.г. большая часть временных проектов размещалась в прибрежной зоне северной Европы, однако, в последнее время наращивают темп 4D проекты в водах Северной Америки, Латинской Америки, Африки и Дальнего Востока (рис. 1).

Одна из причин увеличения программ 4D сейсморазведки заключается в необходимости улучшения покрытия существующими сейсмоприемниками; промышленность в настоящее время требует все большего от 4D приложений. Распорядителям активов все более требуется выяснять тонкие временные различия по более коротким повторным циклам, чтобы обеспечить непрерывную последовательность данных для оптимизации добычи. В области сбора временных данных эти требования переходят в требования к данным с минимальным 4D шумом. Способность по возможности повторно точно воспроизводить положение источника и сейсмоприемника во время сбора данных является одним из важных способов уменьшения 4D шума. Решающим для исследователей является возможность точного повторного проведения операций для любой периодической съемки.

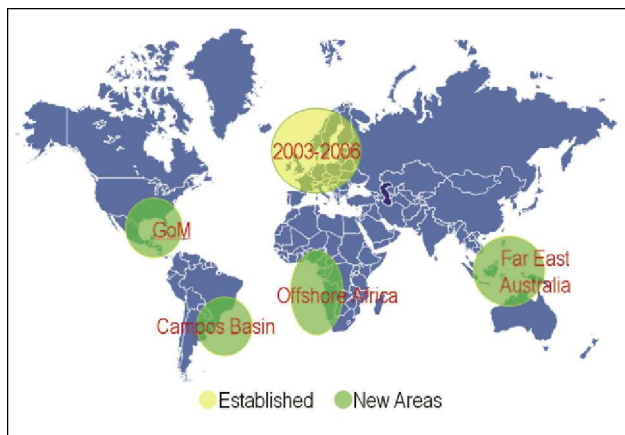


Рис. 1 Продвижение программ 4D.

Задачи сейсморазведки

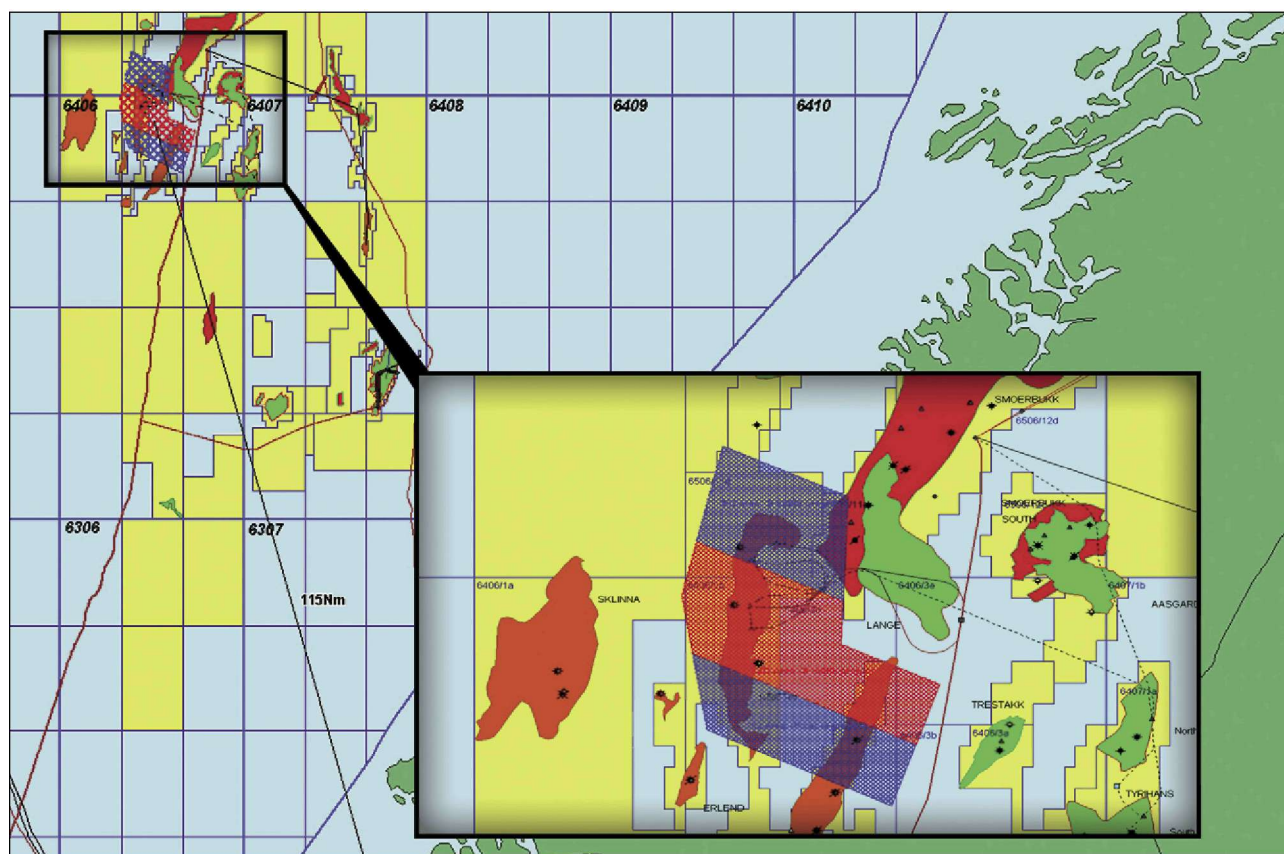
Алгоритмы сейсмической обработки и изображения в целом предполагают, что подповерхностная область земли состоит из однородных слоев. Однако, в действительности сейсмическая скорость и плотность горизонтов земли неоднородны на всех глубинах. Амплитуда и длина волны изменяются в соответствии с геологическим строением. Сейсмические данные искажены присутствием неоднородностей. Эти искажения являются отчасти функцией точного положения источников и сейсмоприемников (Smith, 2007). Задача состоит в повторении прежних положений источника и сейсмоприемника, поскольку чувствительность и успех 4D мониторинга зависят от возможности измерять мельчайшие изменения в откликах, которые являются результатом присутствия углеводородов. Это означает, что чувствительность метода периодических наблюдений зависит от возможности воспроизводить повторные отклики, по которым измеряются эти небольшие изменения. Даже небольшие различия в искажающих свойствах по двум массивам данных вызовут остаточное первичное рассеяние по разным 4D данным (Calvert, 2005).

Планирование, выполнение и контроль качества временных съемок.

В этом году была разработана собственная система, которая оптимизирует сбор данных периодической съемки посредством планирования, сбора данных и методик оценивания, примененных в реальном масштабе времени. Ядром системы является программное обеспечение для автоматизированного запрограммированного позиционирования судна, источника и сейсмоприёмной косы.



Диаграмма 1 Мировой сейсмический рынок 4D в период с 2003 по 2006 г.г. Источник: заимствовано из 4D технико-экономического и маркетингового анализа Французского института нефти (IFP).



Карта 1. Положение газоконденсатного месторождения Kristin.

Оно может планировать и анализировать сейсмическую 4Д съемку и затем отсылать навигационный план в модуль, который управляет каждым звеном системы – управляемые источники, контроль судна и управляемая сейсмоприемная коса 4Д – по принципу автоматического регулирования. Система стремится уменьшить погрешность повторного позиционирования источника и приемников по отношению к первичной съемке.

Пример исследования нефтяного месторождения Kristin

В середине 2007 г. был осуществлен проект мониторинга на нефтяном месторождении Kristin (карта 1) компании Statoil.

Месторождение расположено в юго-западной части банки Halten в Норвежском море и было открыто 3 ноября 2005 г. Месторождение разработано 12 промышленными скважинами на четырех подводных платформах, соединенных с полупогруженной буровой промышленной платформой. Ежедневный уровень добычи по месторождению 125000 баррелей конденсата и более 18 миллионов м³ газа. Резервуар расположен на глубине почти 5000 м под уровнем моря. Давление и температура в резервуаре – 900 бар и 170°C, соответственно, – выше, чем на любом месторождении, разработанном до настоящего времени на Норвежском континентальном шельфе.

Направление линии контрольной съемки определялось направлением базовой линии съемки. Последовательность источников повторила базовую линию съемки. Необходимо было, чтобы профили имели те же источники, что и на схеме расположения пунктов взрыва до начала работ, базируясь на предоставленных файлах навигационного плана.

Базовая линия была первоначально получена в процессе сейсмических работ компанией Geco Toraz по схеме

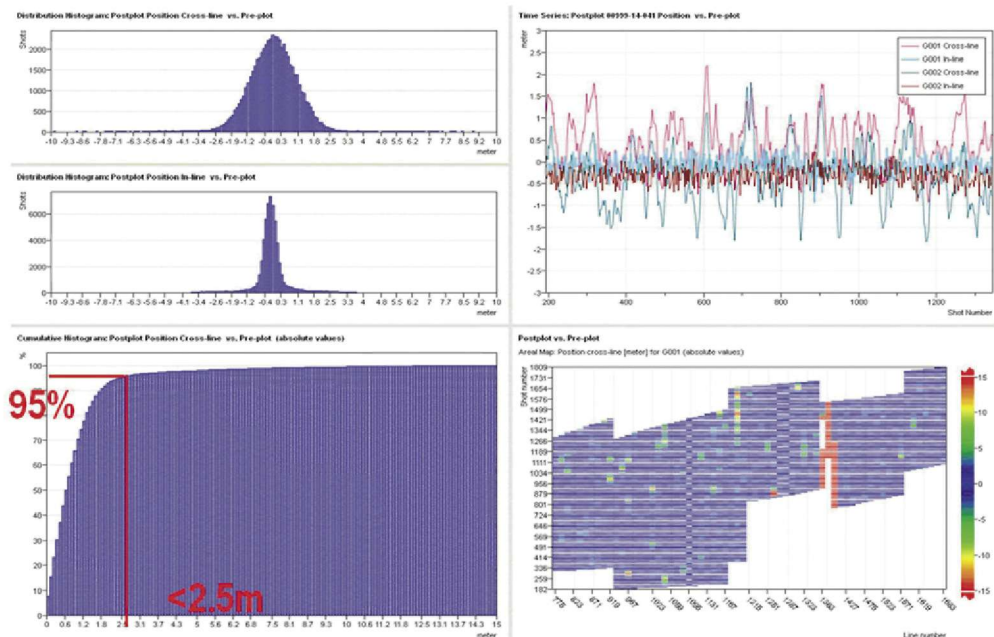
расположения пунктов взрыва до начала работ и нацелена на нулевое отклонение. Эта работа имела успех при установлении базовой линии, чтобы по возможности предельно увеличить повторяемость при будущих контрольных съемках использующих прогрессивную технологию. В 2007 г. цель состояла в том, чтобы получить профили по тем же самым прямым линиям схемы расположения пунктов до начала работ, направляя сейсмоприемники на нулевое отклонение, а также управляя источником для точного позиционирования по системе Q-Marine (качественной морской съемке) Western Spirit (рис. 1).

Spirit начал временную съемку в июне 2007 г и завершил проект через месяц с небольшим. Рабочие характеристики проиллюстрированы на следующих двух планшетах ниже.



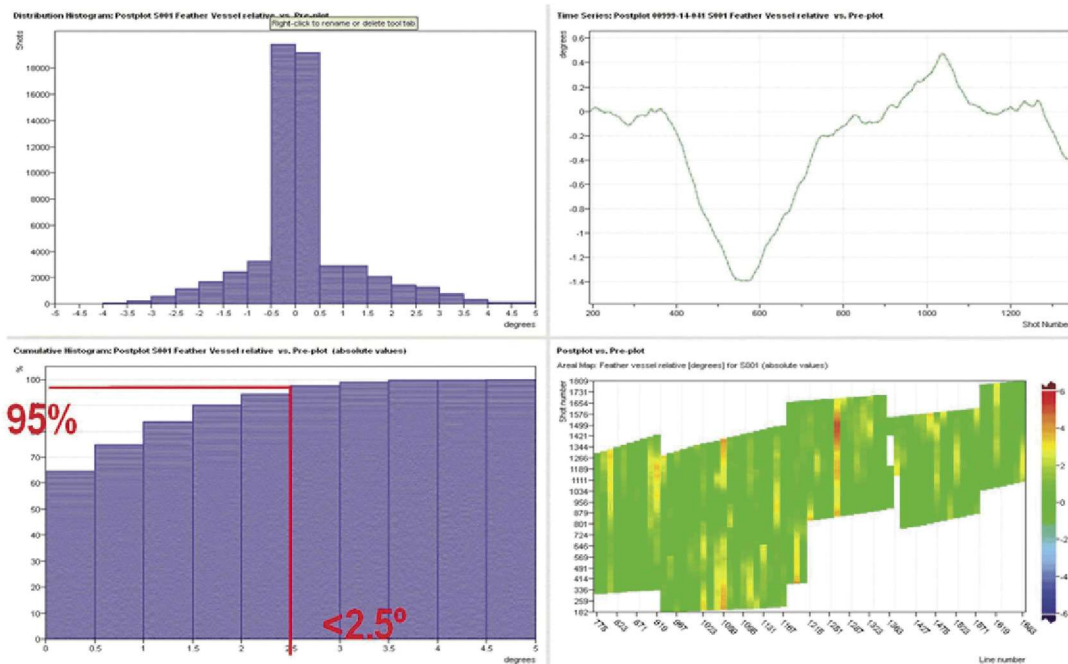
Фото на стр. 80 «Western Spirit» по пути к месту съемки..

Statoil Kristin - Source Position Relative to Monitor Plan



Плот 1 Положения источников на месторождении Kristin относительно плана мониторинга. Для 95% времени (2-сигма) судно способно позиционировать источники с погрешностью менее 2.5 м по сравнению с запланированным положением.

Statoil Kristin - Feather Relative to Monitor Plan



Плот 2 Отклонение относительно плана мониторинга на месторождении Kristin. Для 95% (2-сигма) времени судно может повторить угол отклонения с погрешностью менее 2.5°.

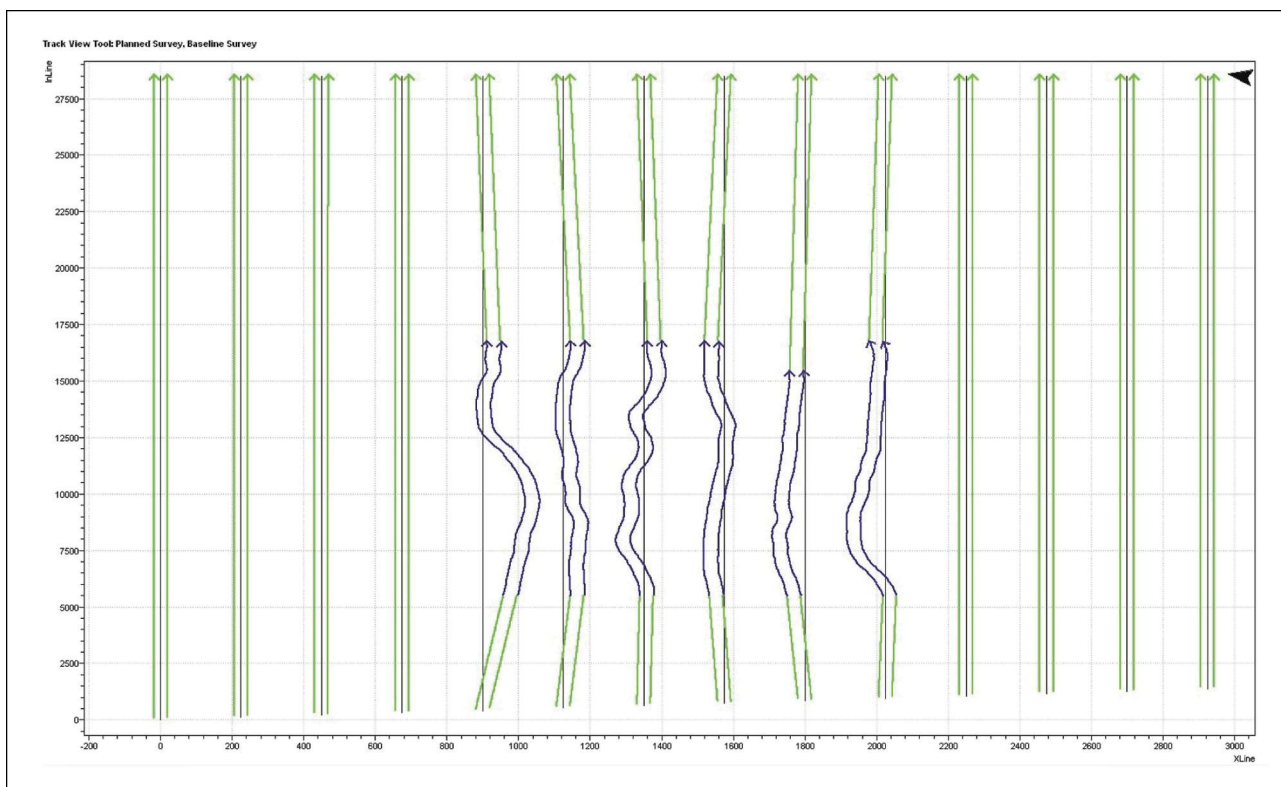


Рис.2 Распространение базовой линии с помощью программы планирования.

Несмотря на небольшие, как и ожидалось, океанские течения и более высокие в 2007 году естественные отклонения относительно базовой линии, результаты, тем не менее, улучшены. Это может быть непосредственным результатом автоматической модели управления, распределяющей динамические поправки позиционирования между звеньями системы. Как нам кажется, такая система представляет собой шаг в направлении усовершенствования технологии.

Достижения технологии

Пакет планирования проведения эксперимента состоит из планирования программы 4D и

последующей программы системы контроля качества, части, тесно связанной с последовательностью операций системы 4D. Массив данных может быть проанализирован в интерактивном режиме, и линии могут быть усечены и объединены в случае необходимости в пределах эксплуатационных ограничений судна (таких как максимальное изменение положения источника или изменение отклонения, которые могут быть отрегулированы относительно установленной единой апертуры). Навигационный план может представлять прямую линию (подобно линии на начальной схеме расположения пунктов), дугу, прямолинейные отрезки, объединенные кривой линией, или любую требуемую схему.

Система распространяет базовую линию более ранней съемки в область, не имеющую предшествующих данных. Эта функция может быть применена для создания схемы новой съемки, что недавно продемонстрировано широкоазимутальными съемками в Мексиканском заливе (рис. 2).

Автоматизированная управляемая система осуществляет контроль над судном, источниками и кабелями, чтобы осуществить проектный навигационный план. Без автоматизированной управляемой системы обычные системы часто будут излишне детальными, чрезмерно чувствительными или нестандартно чувствительными, что очевидно оказывает влияние на оптимизацию и эффективность. Расположение источников и сейсмоприемников сопоставляется с таковыми по навигационному плану в реальном времени от взрыва к взрыву. Отклонения положений объединяются с измерениями параметров окружающей среды (физических, метеорологических и океанографических) в режиме реального времени, чтобы выработать команды управления судном, источником и сейсмоприемниками (рис. 3).

Для лабораторного испытания (Alpha test) системы была создана временная базовая линия с экстремальными требованиями так, чтобы ее трудно было специально повторить.

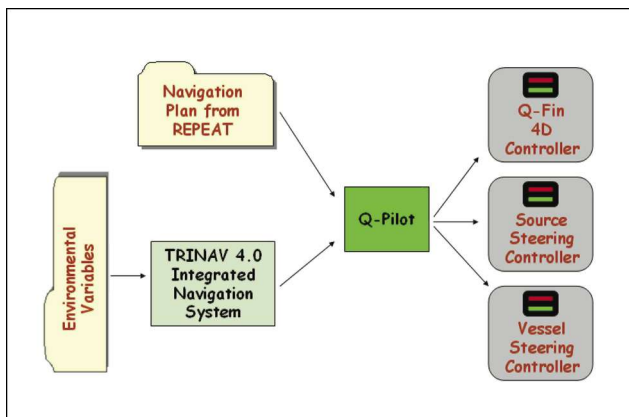


Рис. 3 Модуль осуществляет команды управления.

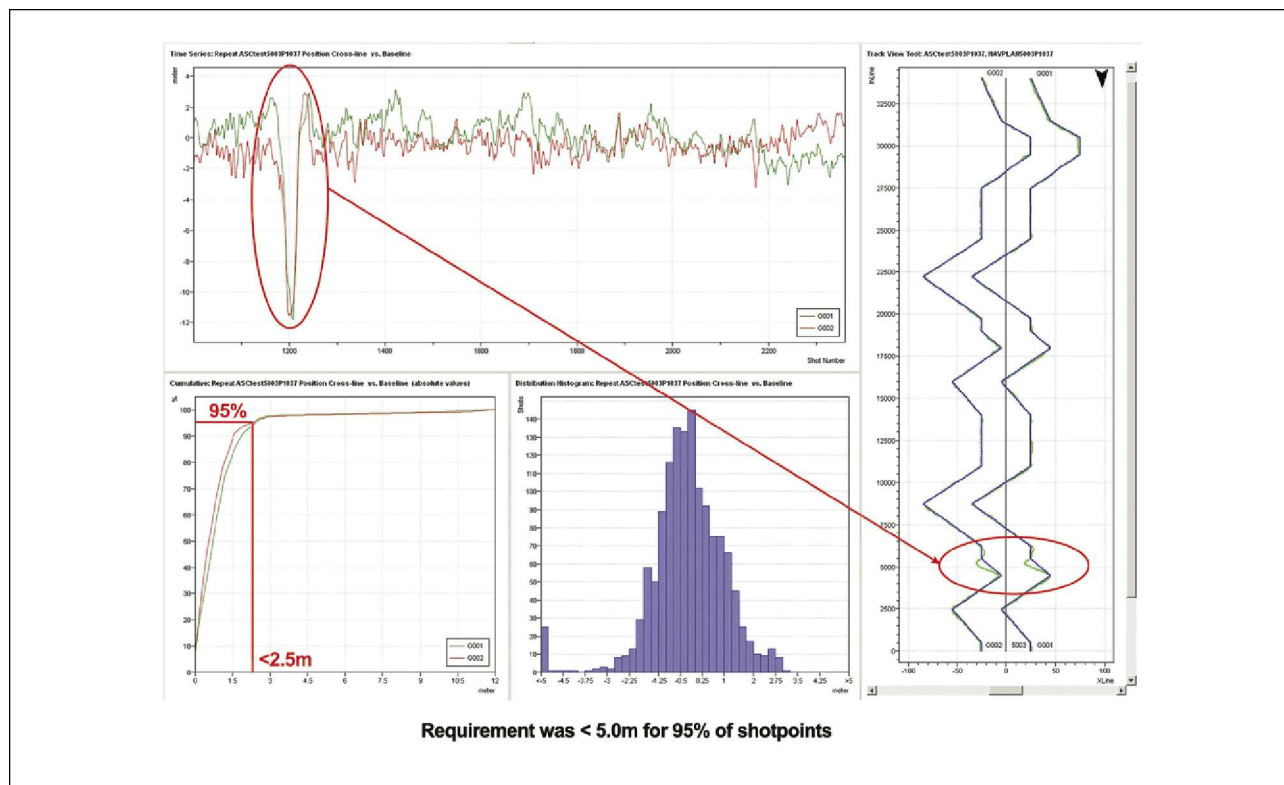


Рис. 4 Лабораторное испытание (Alpha test) – результаты повторного позиционирования источника.

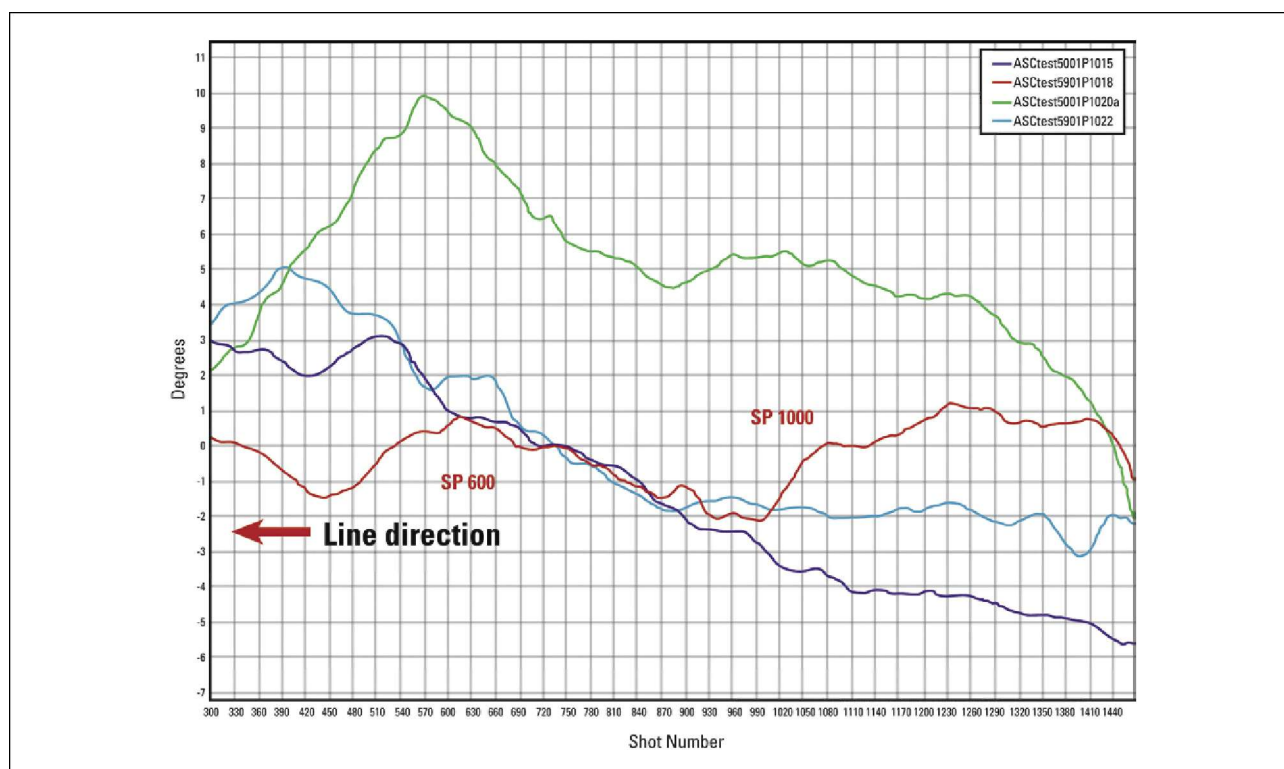


Рис. 5 Диаграмма повторяемости угла отклонения. Зеленая линия – контрольное отклонение, оно показывает что было бы получено без возможности повторного воспроизведения сейсмоприемной косы 4D.

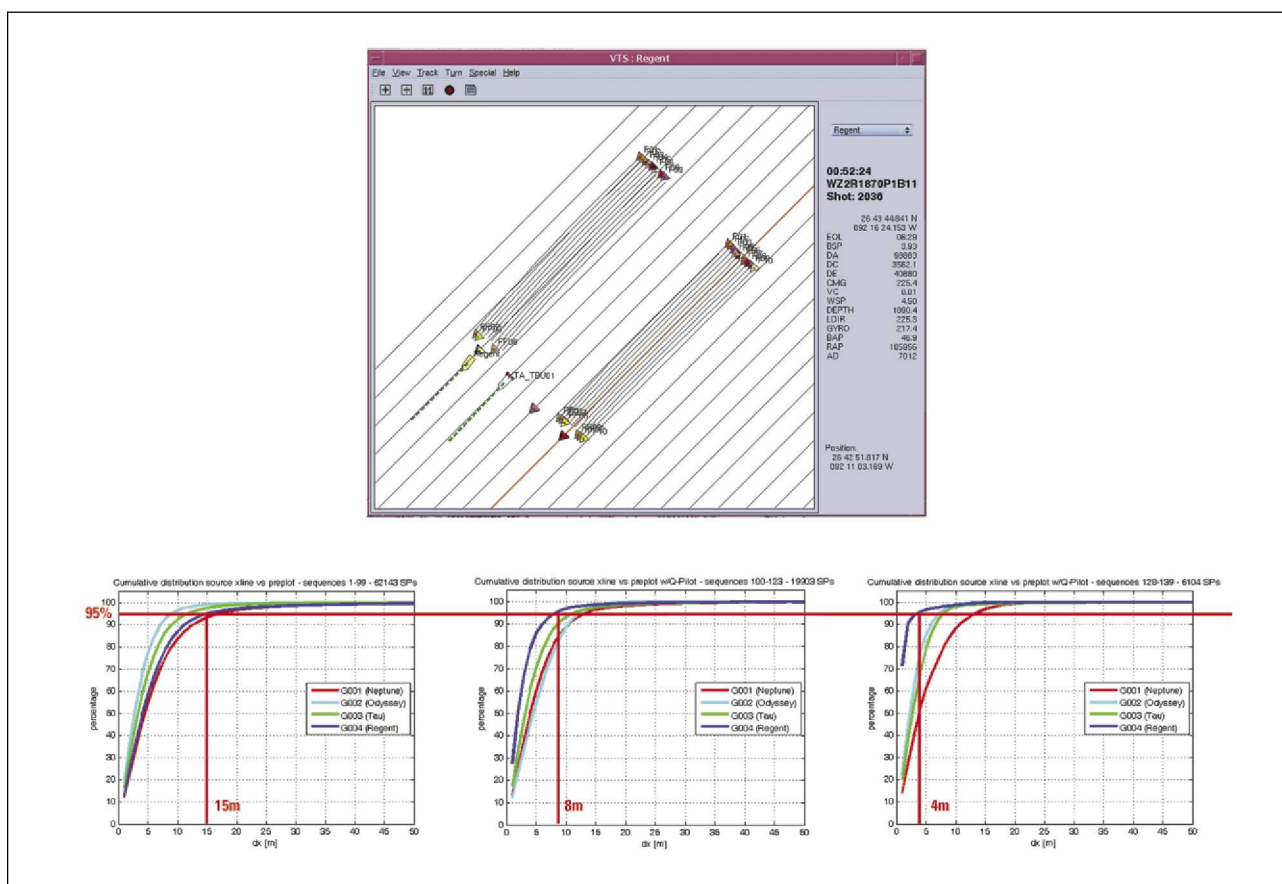


Рис. 6 Результаты управления при эксплуатационных испытаниях (Beta test).

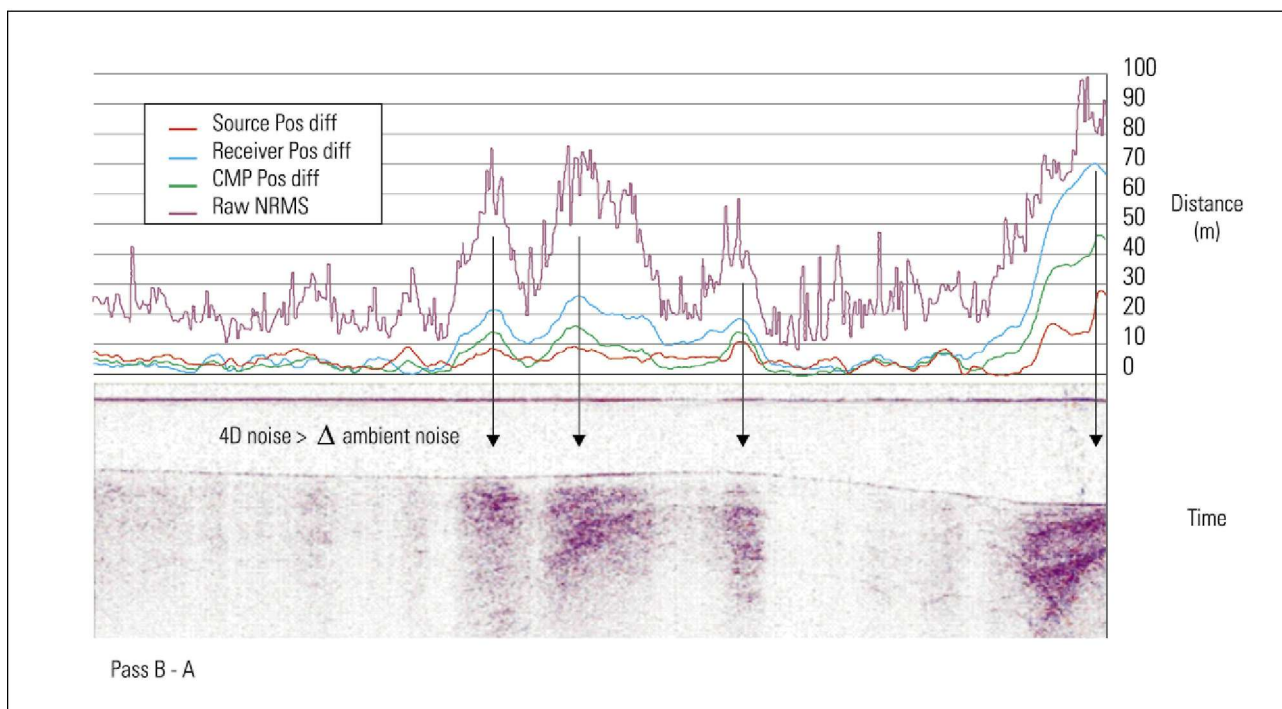


Рис. 7 Смещение необработанного трека каротажной диаграммы от одного источника.

Лабораторное испытание системы было проведено в 2004 г. Результаты испытаний приведены на рис. 4: голубая линия представляет положение источника с левого борта, в то время как розовая линия представляет положение источника с правого борта. Отчетливо видно, что повторные положения вдоль линии лежали в пределах ± 3.0 м, за исключением 1145 и 1241, где система была выключена. Графическое представление ошибок в виде суммарного распределения показывает, что 95% (уровень 2 сигма) линии имеют ошибку позиционирования источника меньше 2.5 м.

Испытание продемонстрировало возможность повторять положение с высокой степенью воспроизводимости. Зеленая линия на рис. 5 представляет отклонение при мониторинге и показывает, что случилось бы, если бы не было управляемой сейсмостойкой кось 4D. Режим управления сейсмостойкой кось 4D был включен между пунктами взрыва 1000 и 600.

В 2007 г. во время эксплуатационных испытаний (Beta test) при выполнении широкоазимутальной программы в Мексиканском заливе была возможность сравнить способность управления источником с сейсмическими судами Western Regent и Western Neptune (Рис 6). Суды были идентично оснащены. Оба судна пытались установить источник по схеме расположения пунктов взрыва до начала

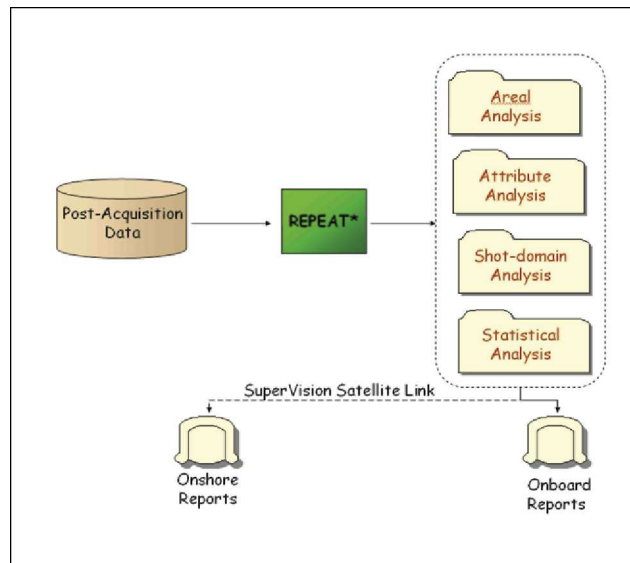


Рис. 8 Временной постпрограммный анализ с помощью программного пакета планирования.

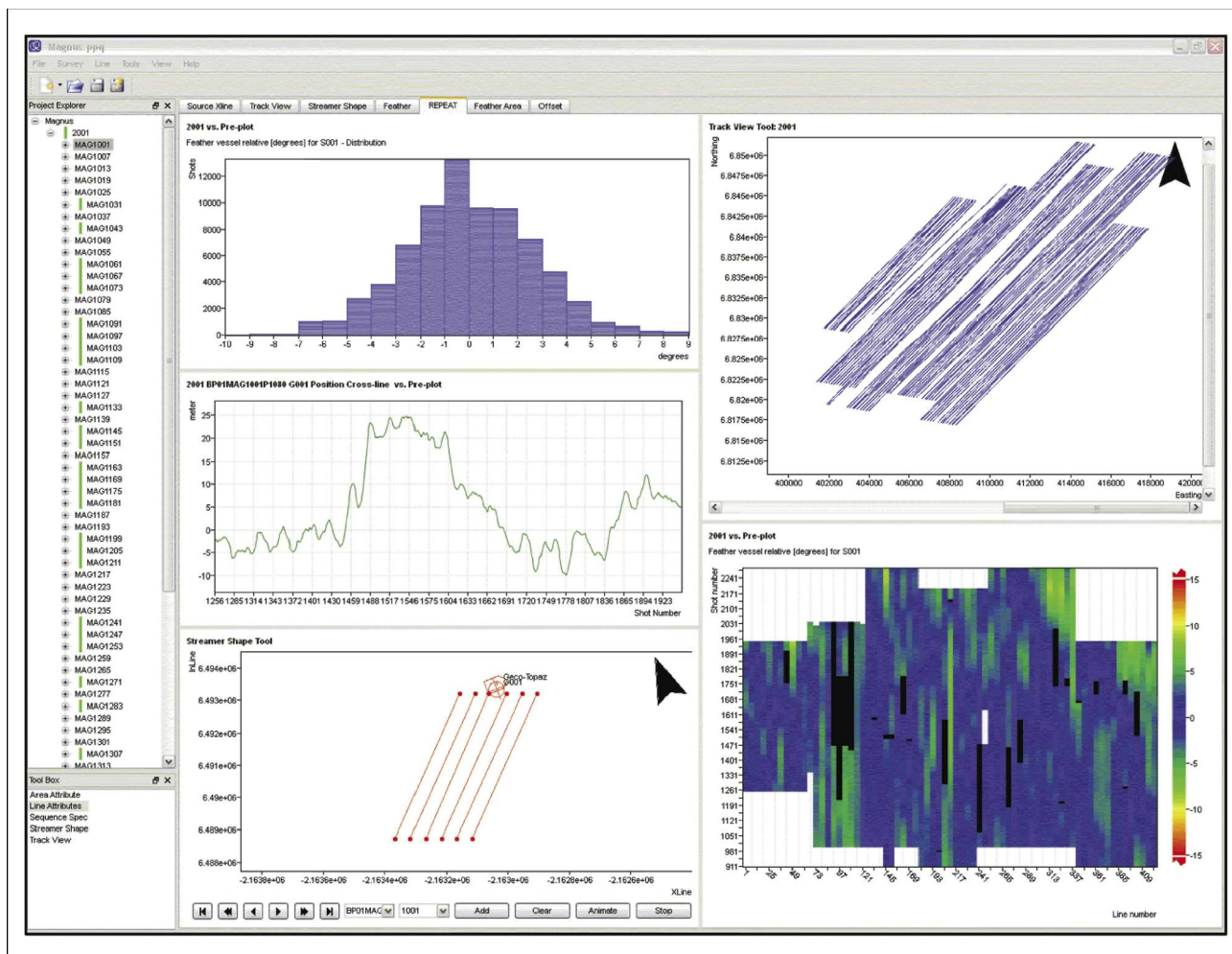


Рис. 9 Изображение на экране согласно программному пакету планирования.

Морская сейсморазведка

работ (предполагаемая базовая линия 4D). Затем было включено автоматизированное управление судном. Было отмечено, что произошло исправление ошибки повторного позиционирования источника (голубая линия) приблизительно на 8 м при уровне 2-сигма (степень достоверности 95%). Когда были включены автоматические регуляторы судна и источника, повторная ошибка по контрольному поперечному галсу составила 4 м и менее. При ручном управлении квалифицированными сейсмическими штурманами достигаемая погрешность по пересечению была 15 м при уровне 2 сигма.

При съемках 4D одна компонента шума 4D возникает из-за различий позиционирования между новыми данными и предыдущими съемками. Измерения качества данных 4D заключаются в определении ошибки между новыми данными и навигационным планом. Значимость шума 4D проиллюстрирована на рис. 7.

Рис. 7 показывает разностный массив данных всех отклонений, рассчитанный между полученными данными по двум прохождениям. Очевидно, что существует четкая связь между интенсивностью разностных отклонений и точностью воспроизведения средней точки (положений и источника и сейсмоприемника). Мы можем уверенно приписать это к неудовлетворительному воспроизведению средней точки, поскольку искажается отраженный сигнал от дна (мы предполагаем, что водный слой однородный). Это четко показывает, что неверное истолкование шума 4D в качестве сигнала 4D сигнала является дорогостоящей ошибкой.

Пакет планирования программы 4D и анализа после выполнения программы предусматривает повторяемость позиционирования. Это так же важно, как и процесс получения временных данных. В объеме того же самого пакета отклонения позиционирования между новым и предыдущим массивами данных могут быть визуализированы в течение часа после прохода профиля. Рисунок 8 иллюстрирует процесс обработки после выполнения программы.

Рисунок 9 показывает, что результаты могут быть оценены зрительно, статистически или по графикам зависимости пункта взрыва от параметров. Эти иллюстрации дают хорошее понимание проекта в упрощенном виде.

Приоритетность возможности согласования

Поскольку приложения 4D начинают быстро распространяться за пределы Северного моря, возникает все больше проектов для областей, где течения зачастую не поддаются прогнозированию, очень сильные, или и то и другое. В таких условиях возможность размещать и контролировать в море положение аппаратного оборудования может вызывать сомнения. Существуют также некоторые, относящиеся к окружающей среде, соображения, такие как волнение, которые оказывают влияние первого порядка на повторяемость сигнала и не могут быть предсказаны. К счастью, проекты 4D в таких условиях не подвергаются риску.

Основополагающий принцип технологии 4D состоит в том, чтобы гарантировать, насколько возможно, что каждый отдельный массив данных является внутренне непротиворечивым в отношении и амплитуды, и фазы окончательного результата. Это изначально достигается средствами калиброванных источников и

сейсмоприемников, объединенными, в первую очередь, с детерминистской последовательностью обработки данных. Часть этой последовательности может быть выполнена благодаря вновь разработанной возможности идентифицировать, а, следовательно, и удалять, влияние на каждый сейсмоприемник мгновенно возникающих на поверхности моря изменений. Это влияние четко отличается от приливно-отливного эффекта, который может быть либо предсказан по приливным таблицам, либо относительно просто оценен, например, вычитанием длиннопериодной информации из Z компоненты GPS, размещенной на аппаратном комплексе в море. Новый подход использует преимущество сбора данных по одному датчику для извлечения близкого к DC измерения, по которому затем может быть рассчитана текущая глубина и форма волны. На основании этого мы можем установить и исправить уровень изменчивости между датчиками, что до некоторой степени невозможно в обычном аналогично сгруппированном массиве.

Как только отклик сейсмоприемной косы стабилизировался, каждая 3D съемка в пределах последовательности 4D затем работает, как если бы взрыв был при спокойном море. Затем возникают две дополнительные возможности. Первая, детерминистское удаление волн-спутников для сглаживания изменчивости расширяет пригодный для использования спектр и в низко- и высокочастотной части. Вторая, поскольку теперь мы можем быть уверенными в полной воспроизводимости условий измерений, точное положение, при котором записывается возвратный волновой фронт, имеет меньшее значение. В результате, можно полагать, что методы интерполяции в отношении амплитуды и волнового фронта будут работать более эффективно, а также может быть гарантирована хорошая повторяемость, даже когда будет другое кулисообразное расположение сейсмоприемников (при сноссе сейсмической косы боковым течением).

Перспективы на будущее включают необходимость переустанавливать источники и сейсмоприемники при проведении временных взрывов по контуру. Другое важное усовершенствование системы должно заключаться в возможности осуществлять управление до тех пор, создавая в то же время минимальный шум от управления.

Выводы

Реализация вновь введенного пакета программного обеспечения привела к усовершенствованию повторяемости конфигурации съемок 4D, выполненных в 2007 г. Предполагается, что эти усовершенствования приведут в целом к значительному улучшению качества результативных данных 4D для этой и других съемок.

Благодарности

Авторы благодарят Statoil за разрешение использовать высококачественные результаты по недавней съемке Kristin. Они также благодарят Jens Olav Paulsen и Andrew Thompson за содействие при написании этой статьи.

Дополнительное чтение

Tang, C.M. (2007). Retracing our steps. *E and P Magazine*. May 2007.

Aarre, V., Hansen, H.J., Herwanger, J., Marshall, J. Paulsen, J.O. Pickering, S. and Tang, C.M. [2007] Innovations in Time. *First Break*, 25, 6.

Calvert, R. [2005] Insights and Methods for 4D Reservoir Monitoring Characterization. SEG/EAGE 2005 Distinguished Instructor Short Course.

Smith, P. [2005] How useful is 4D binning? *Internal Western-Geco conference*.