

Использование донных автономных модулей (нодов) в геологоразведке

■ Доктор Крис Уолкер и Дэвид Хэйз, FairfieldNodal
Перевод – Елена Семсеева, FairfieldNodal

Введение

В нашей предыдущей статье про ортогональную сейсмосьемку с несколькими источниками – Boosting the Bottom Line, Журнал OilfieldTechnology, Издание 6, Выпуск 5, Май 2013 – Дэвид Хэйз и я объяснили, как нодальная технология совместно с одновременным использованием нескольких источников может значительно повысить результативность донных сейсмических наблюдений. Так называемая «Суперпартия» компании FairfieldNodal, имея 5000 модулей и 2 сейсмических источника, смогла исследовать площадь в 2200 кв.км и получить широкоазимутальные данные для корпорации Apache менее чем за 11 месяцев. Использование 5000 активных модулей для проекта Apache стало мировым рекордом, но недавно компания FairfieldNodal выполнила сейсмосьемку и превзошла этот рекорд, используя в активной расстановке 6400 модулей. Целью настоящей статьи является рассказать о том, как проверенная временем надежность морских донных модулей и уроки, полученные при совместном/одновременном использовании нескольких источников, могут привести к дальнейшему повышению эффективности/большая рентабельность донных сейсмических исследований как при оценке, так и разработке, а также, что более важно, расширить возможности их использования для широкоазимутальных исследований.

Чего хотят нефтяные компании?

Очень просто ответить на этот вопрос – снижения затрат. Это неизменная мантра менеджеров по управлению активами в

нефтяных компаниях! Новая технология всегда вызывает интерес, но только не в тех случаях, когда из-за нее растет цена или падает производительность. Относительно несложно спроектировать совершенную съемку для заданной геологической цели, но никто не может себе этого позволить, так как проблема состоит в том, чтобы необходимо спроектировать съемку, которая будет удовлетворять требованиям отображения среды и не будет бить по карману.

Основная проблема при донных сейсмических исследованиях заключается в том, что они имеют существенные ограничения. Небольшие размеры площади приемной расстановки с ограниченным количеством приемников, доступные в прошлом, означали, что для полного покрытия, необходимо было повторно отрабатывать профили. Совсем недавно проводились сейсмические исследования донными косами с очень плотной расстановкой, где пункты возбуждения отрабатывались по восемь раз. Если бы было достаточное количество приемников для того, чтобы покрыть сразу всю площадь, тогда, не учитывая время подключения кабельной расстановки к судну-регистратору, время работы дизельного генератора буйковой расстановки, либо время работы батарей в партии, использующей ноды, можно было бы устранить необходимость в повторных отстрелах и значительно повысить эффективность донных сейсмических исследований.

Однако, недостаточно просто увеличить количество приемников на морском дне. И хотя можно, пренебрегая экономическими аспектами, использовать неограниченное количество нодов,

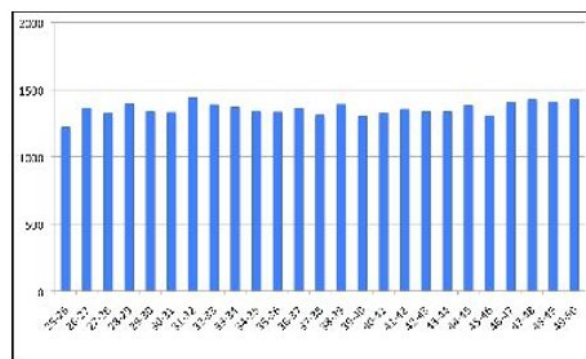
однако это не будет самым эффективным способом сбора сейсмических данных. Это возможно, но следует учитывать капитальные затраты партии и вероятность использования такого большого количества модулей в следующей съемке. Если есть достаточное количество модулей для того, чтобы судно-источник было обеспечено работой в то время, когда модули раскладывают на следующей площади, тогда занятость команды, занимающейся раскладкой модулей и команды судна-источника будет сбалансирована, позволяя таким образом синхронизировать скорость раскладки модулей со скоростью отстрела профиля.

Проектирование съемки

Нодальная технология и совместное использование нескольких источников позволяют фундаментально изменить систему проектирования донных сейсмических исследований – решение о количестве модулей и количестве отстрелов принимается только в зависимости от геофизических требований и эксплуатационной эффективности. Расстояние между приемниками вдоль линии наблюдения может быть увеличено при увеличении плотности точек возбуждения, либо может быть использовано большее количество приемников и большее число совместно работающих источников. Ограничения, связанные с появлением помех, вызванных увеличением числа источников, имевшие место в прошлом, исчезают при должной координации работы источников. Одновременно при использовании нодов исчезают ограничения, связанные с подключением приемников к судну-регистратору/регистратору бую, с ограниченностью длины приемной линии из-за ограничений максимально допустимого количества приемников,

подключаемых к кабелю/бую.

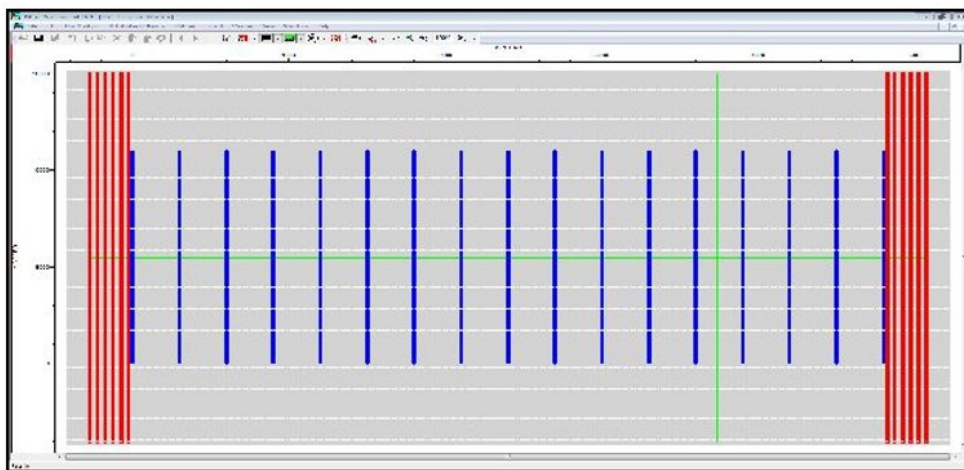
При уменьшении плотности расстановки приемников количество приемных линий/расстановок может возрастать. Исторически сложилось так, что из-за ограниченного количества приемников/приемников на приемную линию или требований к привязке линий к судну-регистратору, операторы были ограничены 6-8 линиями расстановки. Для проекта Apache, о котором упоминалось во введении, компании FairfieldNodal удалось использовать 15 приемных линий с ортогональной геометрией и двумя источниками. Расстояние между приемниками составляло 50 м x 250 м, среднее расстояние между пунктами возбуждения – 37,5 м x 250 м. Мы говорим «среднее» о расстоянии между пунктами возбуждения, так как источники стреляли по псевдослучайным координатам, так что было равновероятно, что расстояние между точками возбуждения могло быть как 25 м, так и 50 м, как показано на рисунке 1. Таким образом, среднее расстояние составляет 37,5 м.



▲ Рис. 1. Распределение интервалов ПВ на одном профиле.

Для оценки и разработки, где как более плотная расстановка приемников, так и более частые отстрелы рассматриваются как критические для показателей качества разработки, могут быть спроектированы съемки, в которых эти идеи могут быть использованы с выгодой.

▼ Рис. 2. Расстановка, ориентированная на цели оценки и разработки.



Расстояние между ПП	25 м	Расстояние между ПВ	25 м
Расстояние между приемными линиями	300 м	Расстояние между линиями возбуждения	50 м
Длина приемной линии	11 км	Длина линии возбуждения	19 км
Активные приемные линии	17	Количество линий возбуждения	12
Активные приемники/линия	441	Выстрелов/линия	761
Активные ноды	7497	Выстрелов/профиль	9132

По два источника на каждом судне-источнике, одновременно производящих отстрел с разных сторон профиля – 4 источника, используемых совместно.

На рисунке 2 представлена ориентированная на цели оценки и разработки расстановка 17-roll-2, для реализации которой партии требуется 9261 модулей, чтобы модули можно было перемещать во время отработки профиля. Два судна-источника с двумя источниками каждый непрерывно отстреливают профиль с того момента, как ~7500 модулей расставлены. Использование одного судна-раскладчика и еще одного комбинированного судна-раскладчика/источника дает возможность разложить начальную расстановку модулей менее чем за два дня. Одной расстановкой охватывается площадь в 52,8 км².

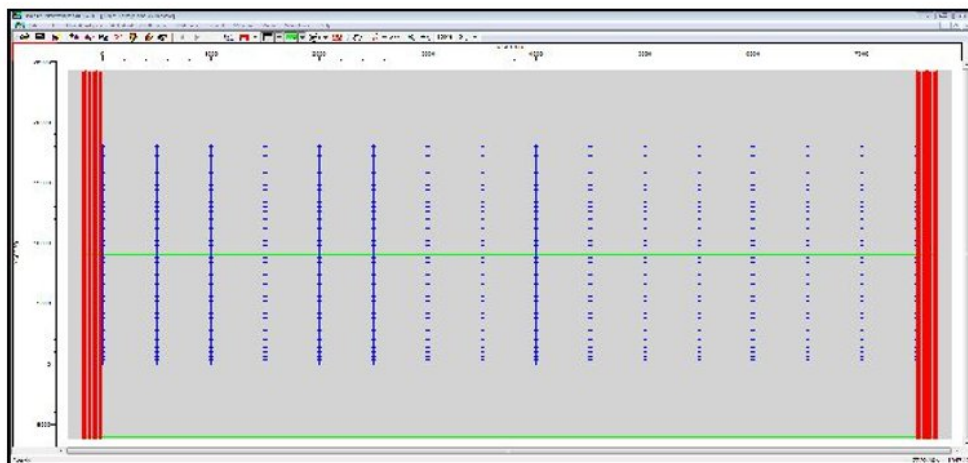
Для геологоразведочных работ, где решающим фактором является стоимость и производительность, можно

увеличить как расстояние между приемниками, так и расстояние между приемными линиями, для того, чтобы можно было использовать более широкий охват, уменьшая при этом количество используемых нодов.

На рисунке 3 показана расстановка 16-roll-2 с 4 совместно работающими источниками (два источника на судне/режим возбуждения флип-флоп) снова за пределами расстановки, хотя для цели разделения и воссоздания отдельных возбуждений (де-блендинга) в этом нет необходимости. В то время как каждая приемная линия имеет длину 18,2 км, интервал между приемниками составляет 200м. Это означает, что необходимо использовать только 91 модуль на приемную линию и всего 1456 активных модулей.

По два источника на каждом судне-источнике, одновременно производящих отстрел с разных сторон профиля – 4 источника, используемых совместно.

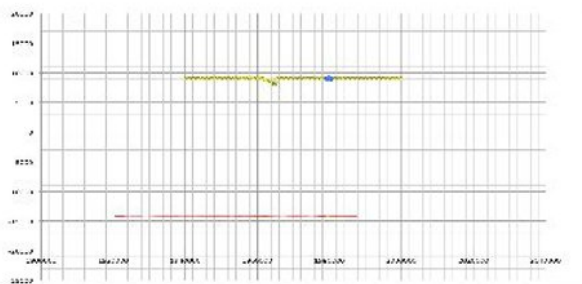
▼ Рис. 3. Расстановка, ориентированная на геологоразведочные цели.



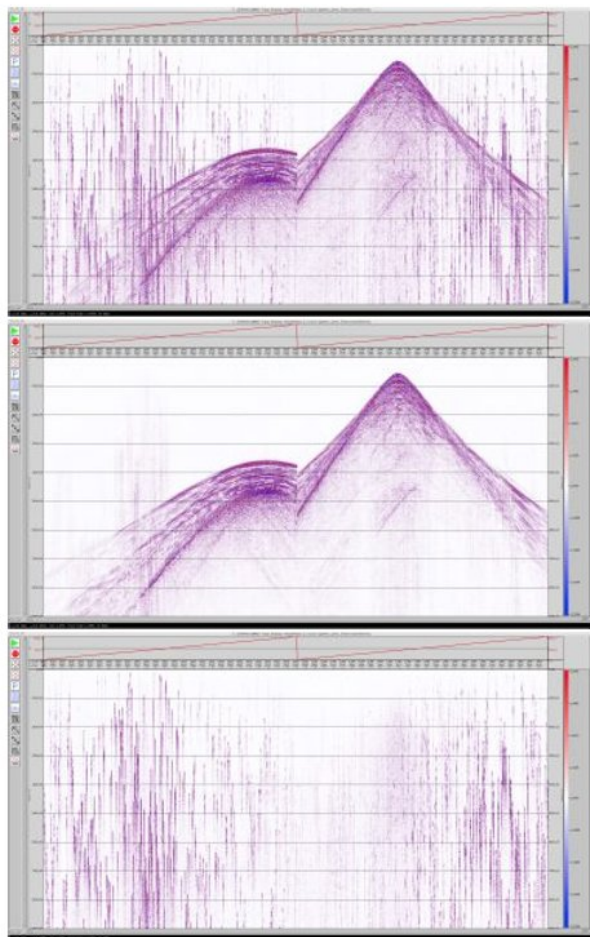
Расстояние между ПП	200 м	Расстояние между ПВ	50 м
Расстояние между приемными линиями	500 м	Расстояние между линиями возбуждения	50 м
Длина приемной линии	18,2 км	Длина линии возбуждения	30,25 км
Активные приемные линии	16	Выстрелов/линия	605
Активные приемники/линия	91	Количество линий возбуждения	20
Активные ноды	1456	Выстрелов/профиль	12 100

16-ть ~18 км приемных линий с интервалом между приемниками 500 м с параллельными отстрелами за пределами расстановки дают вынос пункта возбуждения в поперечном направлении, равный 8 км, что совпадает с отстрелом по 8 км с каждого конца расстановки, в результате чего длина линии возбуждения достигает 30 км. И снова, используя два судна-источника (в режиме флипплоп) можно найти оптимальное соотношение между временем перемещения приемников и отработкой профиля, чтобы после того, как начальная расстановка в ~1500 модулей была развернута, расстановка перемещалась со скоростью отстрела. Требуется всего одно судно-раскладчик, так как начальная расстановка может быть развернута и позиционирована менее, чем за один день. При расстановке 16-roll-2 требуется всего 1638 модулей для того чтобы исследовать площадь в 144 км²/расстановка.

Разделение сейсмических записей при использовании нескольких источников, применяемое к полученным данным, осуществляется путем оценки сигнала когерентного источника и затем, используя данные о всех временах возбуждения, выявляется место, где энергия выступает как помеха, которая удаляется. На графике время/возбуждение в верхней части рис.4 видно, что когда источник «В» находится близко к ноду, рядом с ПВ 4140, источник «А» производит возбуждения возле ПВ 3360. Высокий остаточный шум в трассах, полученных у источника «А» - это не столько ошибка де-блендинга, сколько наложение некогерентного шума (компрессоры, двигатели, пропеллеры и прочее), которые регистрирует модуль, когда источник «В» находится вблизи. Так как этот шум нерегулярный, он может быть полностью подавлен с помощью традиционных методов мультисканального удаления шумов.



▲ Рис. 4а. Расположение источников и приемников для данных на Рис.4б. Красные линии = линии возбуждения А и В; Желтая линия = приемная линия; Голубые точки = положение нода.



▲ Рис. 4б. Данные до де-блендинга, полученные с расстановкой на Рис.4а. Верхний рис.: слева = данные до де-блендинга, источник А. Справа = данные до де-блендинга, источник В. Средний рис.: Слева = данные после де-блендинга, источник А. Справа = данные после де-блендинга, источник В. Нижний рис.: слева = отличие, источник А; справа = отличие, источник В.

Будущее

Куда же это ведет? Наблюдения с 10000 нодов, сдвоенными источниками, работающими в режиме «флип-флоп», уже используются, уменьшая стоимость морских сейсмических наблюдений с использованием автономных донных модулей и увеличивая при этом качество данных и производительность. Операторы из группы Delphi Политехнического института Дельфта производили отстрел профиля с увеличивающимся количеством одновременно используемых источников, и, как они утверждают, случайные помехи рассредоточены по количеству источников и отношение сигнал-помеха улучшается с увеличением количества источников. Это предполагает, конечно же, усовершенствованный де-блендинг и, как показано в настоящей статье, присутствие дополнительного судна-источника может привести к присутствию когерентного шума в записи. В случае использования источников с различным диапазоном частот, к примеру, необходимо убедиться, что они производят меньше шума, чем судна, используемые в настоящее время, так как происходит образование случайных помех.

Одним из очень важных моментов является длина троса, необходимого для развертывания большого количества модулей, в особенности при большом интервале между приемниками. При расстановке 10000 модулей с интервалом в 25 м необходим трос длиной в 250 км, что относительно просто сделать с одного судна.

При большем количестве приемных линий, например, для суперширокой расстановки 33-перемещение-2 с 2640 модулями, с интервалом между модулями в 200 м, необходим трос в два раза длиннее – 528 км. Это подразумевает

хранение троса на нескольких судах, что увеличивает затраты. Судно может перевозить до 5000 модулей для суперширокой расстановки из 33 линий, но трос придется распределить между двумя судами-раскладчиками. Или эти суда лучше переименовать в суда для перевозки троса?

Изучая возможные расстановки в будущем, сетки приемников в 300 м, 3000 модулей, например, требуется 900 км троса, что становится серьезной проблемой.

Посыл статьи таков: ноды и одновременное использование нескольких источников позволяют добиться полной свободы при выполнении сейсмосъемки, то что мы называем Geometric Freedom. Теперь возможно проектировать сейсмосъемку, которая казалась неосуществимой еще в недавнем прошлом, и путем оптимального соотношения развертывание-возбуждение эти расстановки могут быть оптимизированы для сбора широкоазимутальных

данных, полученных на больших удалениях от источника, что эффективно с точки зрения затрат для целей исследования так, как это уже зарекомендовало себя для целей оценки и разработки.

Статья первоначально опубликована в журнале "Oilfield Technology" в апреле 2015 г.

Подробнее об авторах



Крис Уокер

доктор наук, промышленный геофизиком, специализируется на дизайне морского источника, планировании съемки и бортового контроля качества.



Дэвид Хэйз

Вице-президент Fairfield Technology Group, компания FairfieldNodal, магистр физики.