

# Морская сейсморазведка

## Восполнение пробела – 4C наблюдения с использованием комбинации кабеля и нод

Bridging the gap - 4C acquisition using cable and node combinations

**Комбинирование 4C кабеля и нод дает возможность максимального сейсмического покрытия районов разрабатываемых месторождений в открытом море. Майк Ходж (Mike Hodge), вице-президент по развитию 4C операций, и Рик Донохью (Rick Donoghue), вице-президент по продажам, объясняют, как их компания Multiwave преодолела технические и операционные риски, связанные с комбинированным подходом.**

**Н**есмотря на резкое падение спроса на использование данной технологии после нескольких успешных примеров применения в середине 1990-х, многокомпонентная или четырех-компонентная (4C) сейсморазведка в последние три-четыре года устойчиво приобретает популярность у основных нефтяных компаний как метод, приносящий хорошие результаты. 4C представляет собой комбинацию сейсмических датчиков, состоящую из гидрофонов (также как и при стандартных морских наблюдениях с косами) и трех ортогонально-ориентированных геофонов (аналогичных используемых при наземных наблюдениях) в каждой приемной станции.

В настоящее время почти не осталось сомнений, что информация о месторождении, полученная из данных 4C сейсмических наблюдений значительно обширнее и, следовательно, более полезна, чем данные обычной морской сейсморазведки с косами. Недавнее голосование среди геофизиков из нефтяных компаний показало, что надежным является использование результатов интерпретации 4C съемок для построения временных разрезов в областях под газовыми облаками, для улучшения качества записей Р-волн и контрастности Р-волн, литологическое расчленения, характеристики трещин, улучшения малоглубинной разрешенности и разделения флюидов.

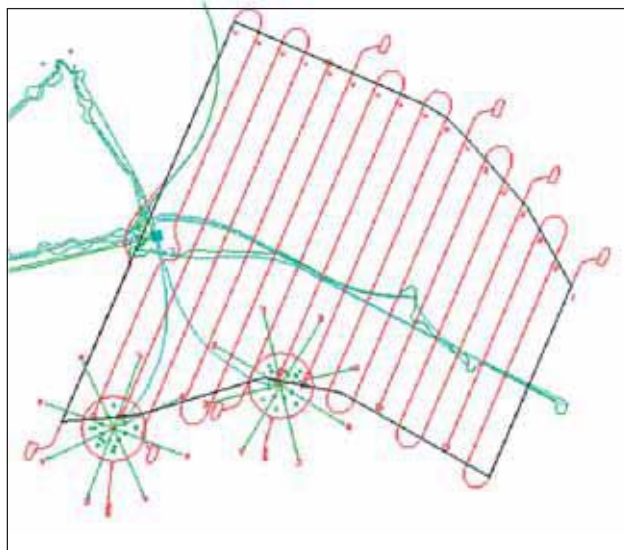
Большинство 4C съемок проводятся в районах разрабатываемых месторождений, так как целью этой усовершенствованной сейсмической методики типично является уточнение существующих изображений резервуаров. Расширенное толкование любого из выше перечисленных атрибутов приводит к экономически эффективному продолжению разработки месторождения.

Несмотря на не требующее доказательств преимущество 4C технологии и тот факт, что технология проведения 4C измерений в настоящее время доступна от ряда производителей оборудования, существующий метод достижения однообразного, полного покрытия сейсмической съемкой между полевыми установками, и часто в глубоководных измерениях, далеко не так очевиден.

4C кабели позволяют очень эффективно производить сейсмические наблюдений, так как они устанавливаются и собираются относительно быстро. Также они позволяют операторам вести мониторинг сейсмических датчиков и данных, так как они подсоединены к регистрирующей аппаратуре все время. 4C ноды напротив нуждаются в отдельной установке и сборе и не предоставляют возможности доступа к данным как кабели, так как они ведут запись на диски, встроенные в сборный узел ноды.

С учетом этого, 4C кабель будет очевидным выбором для 4C съемки, что мы и наблюдаем в действительности. Но для 4C съемки требуется расположить сейсмическую косу на морском дне так, чтобы три геофона могли записывать направленное движение частиц и очень часто кабели на морском дне должны отклоняться

от прямых, намеченных линий для сохранения минимального расстояния доступа к разнообразным подводным инфраструктурам, например, трубопроводов, якорных цепей и т.д. Данная проблема проиллюстрирована на Рисунке 1. Здесь донные кабели, расположенные на западной окраине этой площади для 3D съемки, пришлось отклонить от прямых предначертанных линий, и, следовательно, в сторону от добывающей платформы, для избегания подводных сооружений, таких как манифольд и обломки выбуренной породы.

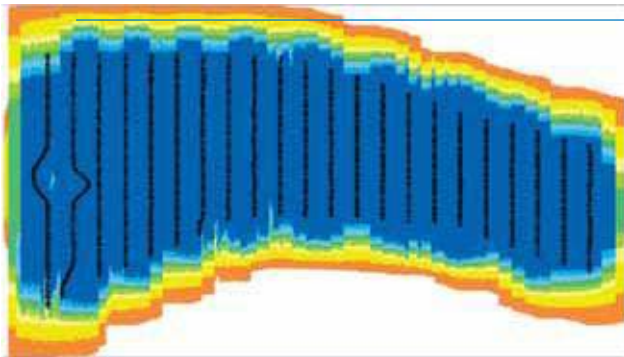


**Рисунок 1** Отклонение от прямой, намеченной линии

В некоторых случаях, таких как недавнее размещение компаниями Multiwave 4C кабелей над глубоководным месторождением Mars компании Shell в Мексиканском заливе, можно преодолеть проблему подводных преграждений прохода и все-таки разместить кабель вдоль прямой линии. Кабели пришлось протянуть между несколькими разделительными колоннами под водой, прежде чем расположить их на морском дне. Это представлялось очень важным, так как это было размещение всего одного кабеля, который также был вкопан в морское дно как постоянная система для мониторинга. В случае обычной многокабельной 3D съемки очень нетипично применение такого сложного и рискованного маневра. Вместо этого кабель, возможно, пришлось бы протянуть вокруг платформы для поддержания эффективности съемки, как на иллюстрации.

## Морская сейсморазведка

Такие отклонения, конечно же, могут оставлять области с недостаточной сейсмической кратностью покрытия на конечной карте распределения кратностей, не только в местах отклонения кабеля, но также там, где судно с источником отклонялось для избегания таких поверхностных препятствий нефтеналивной буй (нижний левый угол Рисунка 2) и нерегулярные визиты челночных танкеров. Такие изображения кратности типичны для съемок на застроенных площадях. Конечный результат – это пропущенные данные и меньше, чем оптимальный для съемки, целью которой было получить улучшенное разрешение, провести разделение флюидов или реализовать другие из преимуществ 4С данных.



**Рисунок 2** Обход нефтеналивных буй

В силу вышесказанного проблема заключалась в уменьшении областей с недостаточным сейсмическим покрытием в районах активных месторождений. Вопрос в том, как это сделать?

### Улучшенная точность расположения кабелей

Компания Multiwave имеет недавний опыт расположения 4С кабелей в областях с очень плотной нефтяной подводной инфраструктурой. В одном случае единственно возможным способом, позволяющим провести 4С съемку, было протянуть кабели через трубопроводы в области съемки, так как было невозможно избежать их. Плотность трубопроводов подразумевала, что кабель будет пересекать затрудненные области каждые двести метров. Но, вообще говоря, было очень желательно в большинстве случаев избежать подводные сооружения на месторождении в процессе установки кабелей.

Наиболее безопасная ближайшая точка приближения (БТП) должна рассчитываться исходя из точности позиционирования и возможности контролировать положения точки спуска кабеля. Один из таких подходов – это система размещения на морском дне компании Multiwave, которая позволяет

располагать сейсмические кабели на морском дне с точностью до 1% по глубине от намеченных координат в диапазоне от 10 до 2000 м. Типичный результат (Рисунок 3) конечного расположения кабеля на глубине 400 м. в Норвежском секторе Северного моря, показывает, что ошибка между результатом расположения и намеченной линией менее 2 м.

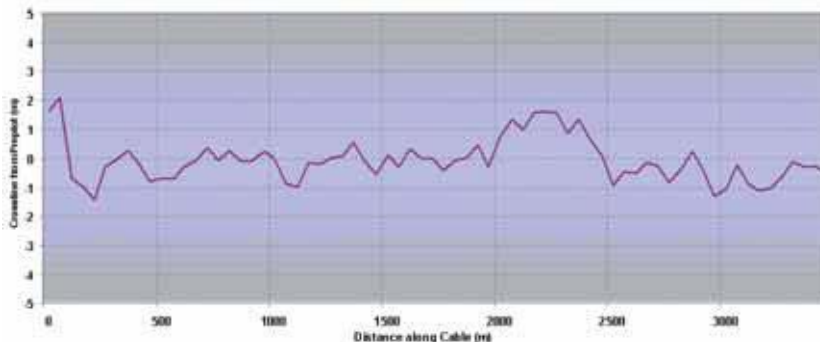
Это значит, что криволинейные отклонения как самого кабеля, так и от платформы (левый край Рисунка 1 и Рисунок 2), очень хорошо контролируются и точно известны. То есть кабель был расположен настолько близко, насколько это позволяет минимальная (БТП), которая была оговорена на стадии проектирования съемки. Тем не менее, даже такие контроль и точность данной системы размещения на морском дне не могут обеспечить полное сейсмическое покрытие.

### Восполнение пробела

Итак, даже при том, что кабель это очевидный выбор при постановке задачи сбора 4С данных, видно, что он не позволяет провести непрерывную съемку в некоторых случаях. 4С данные также можно записывать, используя ноды вместо кабелей, или вместе с кабелями. 4С ноды являются изолированными, автономными сейсмическими регистрирующими устройствами, которые устанавливаются на морское дно и оставляются для записи пока не закончатся батареи. Когда нода извлекается, ее данные загружаются в мастер-диск на регистрирующем судне. Нода потом может быть перезагружена и установлена опять.

Серия автономных нод может быть установлена с использованием подводного аппарата дистанционного управления в случаях, когда донный сейсмический кабель не может быть проложен через колонны платформ, якорные цепи и т.д. При этом будет достигнута та же степень точности, что и при использовании кабелей. По существу, «виртуальный кабель» может быть восстановлен почти под любыми препятствиями, если устанавливать ноды с интервалами, равными расстоянию между приемниками в кабеле.

Прежде чем запускать коммерческие операции, было важно продемонстрировать, что данные с 4С нод сопоставимы с 4С кабелями, что их совмещение возможно. Для демонстрации Multiwave провел серию испытаний летом 2003 года, где ноды были установлены рядом с кабелями, чтобы можно было провести прямое сейсмическое сравнение.



**Рисунок 3** Иллюстрация точности расположения кабеля

## Морская сейсморазведка



Рисунок 4 Установка 4С ноды вдоль датчика 4С кабеля

Рисунок 4 показывает размещение 4С ноды вдоль 4С датчика кабеля (голубой модуль) на глубине 357 м. (см. верхний правый заголовок экрана). Подводный аппарат дистанционного управления использовался для гарантии того, что расстояние между нодой и кабелем было меньше 1 м. Манипулятор, опускающий ноду на место, можно заметить в верхней части рисунка. Данные были получены обоими системами, полностью независимо друг от друга, от одного сейсмического источника как при 4С 3D съемке. В конце каждой записи нода и кабель были извлечены. Данные были скачаны с ноды перед следующей установкой и тот же самый опыт был повторен на четырех других рядах. В каждом случае нода устанавливалась на расстоянии менее 1 м. от кабеля.

Обе системы используют схожие геофоны, не на основе карданового подвеса для оптимизации геофизического соединения с морским дном, так как механическая передаточная функция между почвой и геофоном наиболее постоянная. Карданный подвес и контактное кольцо опирается на маленькие механические зазоры для надежной работы и механического вращения. Считается, что сейсмическое смещение почвы измеряется порядками лишь нескольких длин световых волн. Налицо противоречие в конструкции!

Тем не менее, внутренне более чистый сигнал от не карданно подвешенных геофонов требует специального внимания при обработке. Данные должны быть «повернуты» из положения как есть (довольно случайного) по осям съемочной сетки. Для этого эксперимента как 4С кабель, так и 4С нода требуют независимого анализа поворота с целью получить одинаковые записи общего пункта приема, которые показаны на Рисунках 7 и 8.

В октябре 2004 года очень похожий эксперимент с привлечением также 4С данных кабеля и нод был проведен в глубоководной части Мексиканского залива. Приблизительно на глубине 1000 м. 4С кабель был установлен на морское дно и снова ноды были помещены рядом с приемными станциями кабеля при проведении опыта с целью оценить данный тип комбинации для 4С съемок на добывающих месторождениях в глубоководном регионе. Эксперимент подтвердил, что данный подход к комбинированию выполним в глубоководных районах при использовании различных сейсмических систем, различных систем манипуляции и подъемников.

### Управление данными и ротация

После установки ноды ведет запись непрерывно, до тех пор пока ее не достанут. Для каждого компонента в простой файл записываются непрерывные данные на протяжении многих дней. Но как эти данные переформатируются в формат SEG Y?

На первом шаге происходит корректировка дрейфа часов в ноды за период записи на морском дне. Файл для каждой компоненты совмещается по времени с номером взрыва с учетом информации из системы источника (с точностью до микросекунды). Следовательно, это разделение записанных данных в более узнаваемом формате, разделение по взрыву и по компонентам. Датчики наклона располагаются в головной части записывающей ноды и эти данные также заносятся в сейсмическую запись. Эти значения могут быть затем извлечены и качественно проконтролированы прежде, чем данные будут повернуты по сетке съемки.

Геофоны в нодах механически установлены в трехкомпонентный сейсмоприемник Гальперина (ТСГ), нежели чем в горизонтально/вертикальную конфигурацию. Система ТСГ остается ортогональной к трем осям, но симметрично по отношению к вертикали. Данный подход имеет преимущество в том, что реальное механическое влияние в главных вертикальных/горизонтальных осях не может доминировать на один отдельный геофон, то есть векторная чувствительность может быть оптимизирована. Процесс ротации включает в себя полный поворот исходных данных ТСГ в трехмерной системе, чтобы разделить горизонтальные и вертикальные компоненты.

Геофоны внутри кабеля установлены с обычной ортогональной ориентацией. Продольные геофоны ориентированы по длине кабеля, в то время как два других геофона установлены перпендикулярно друг другу поперек кабелю. Поворот данных опять таки же необходим для привнесения информации о горизонтальном и вертикальном центрировании. Один из способов провести ротацию данных кабеля это использование анализа диаграмм смещения.

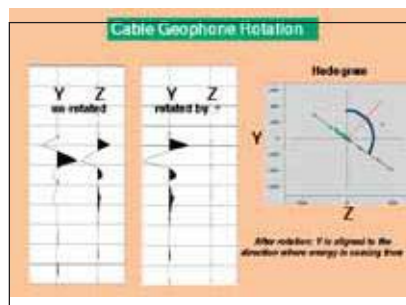


Рисунок 5 Анализ диаграммы смещения

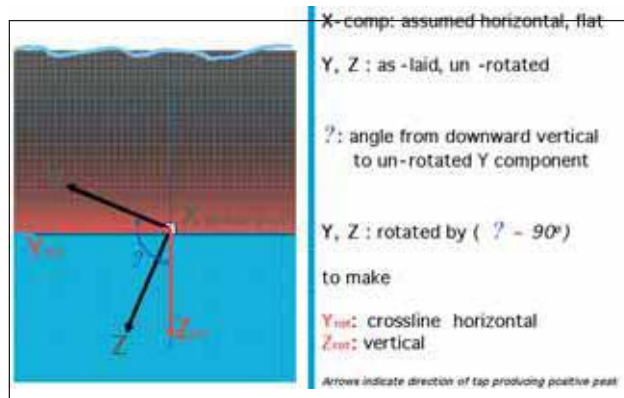


Рисунок 6 Ориентация геофона в кабеле



## Морская сейсморазведка

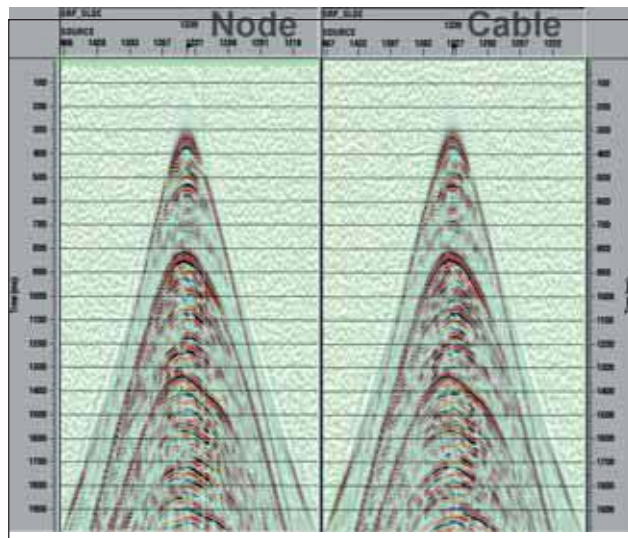
Для данной методики окно первых вступлений, обычно между 100 и 150 мсек, выбирается для каждого «неповернутого» датчика; затем амплитуда каждого отчета изображается на Y-Z диаграммах для получения линии отсчетов. Интерполяция прямой линией через главные оси этих точек даст  $\theta$ , угол на который данные нужно повернуть для максимизации энергии Y компоненты (в данном случае).

### Заключение

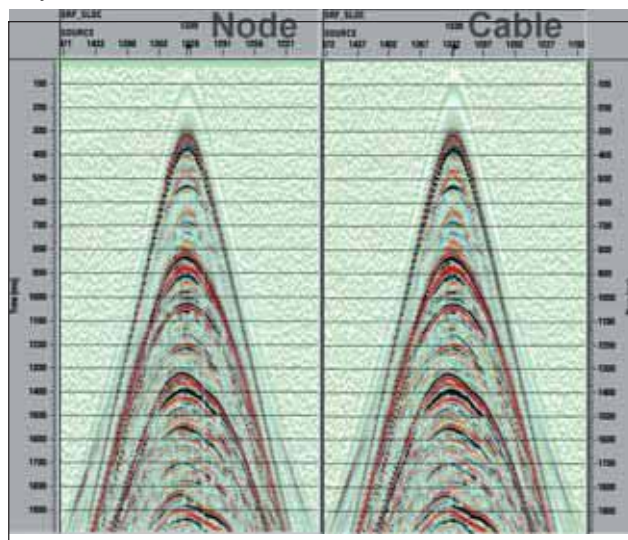
После вращения многокомпонентных данных из этих двух независимых приемных систем, конечным результатом является два набора 4С данных, которые настолько похожи, что их можно совмещать и обрабатывать как простой набор данных без значительных отклонений от потока обработки.

При условии понимания всех технических и операционных рисков данного подхода возможно успешно воплотить данные процедуры в коммерческих съемках, комбинирующих данные 4С кабелей и нод.

Получение многокомпонентных сейсмических данных в районах сложных разрабатываемых месторождений в настоящий момент является достижимой целью. Существуют не только описанные методики, подтвердившие свою надежность и эффективность, для получения сейсмических данных без пробелов. Нет больше необходимости идти на компромисс и просто получать сейсмические данные в простых ситуациях. Нет больше необходимости идти на риск переснимать результаты с системой нод, если данные отклоненных кабелей оказались недостаточны. 4С кабель и 4С нода должны рассматриваться как два метода, направленные на разрешение одних проблем и доступные в ходе обычной сейсмической съемки.



**Рисунок 7** Сейсмограммы ОПП: вертикальная компонента геофона, кабеля и ноды



**Рисунок 8** Сейсмограммы ОПП: гидрофон, ноды и кабеля

### Заметка

В данных экспериментах использовались 4С ноды Sercel ARMSS для донных наблюдений, и 4С кабели были произведены компанией Geospace.