

Оптимальные подводные системы позиционирования USBL для сейсмической разведки. Optimizing USBL subsea positioning systems for seismic surveys

С увеличением требований к системам подводного позиционирования для удовлетворения необходимых условий океанской донной сейсморазведки и электромагнитных съемок Simon Partridge, технический директор, Sonardyne (Гидроакустика) представляет некоторые соображения по получению оптимальных результатов по самым новым методикам ультракоротких базовых линий (USBL).

Морская сейсморазведка в течение почти двух десятилетий использовала акустические дальномерные устройства, предназначенные для буксируемых сейсмоприёмных кос и малоглубинных океанских донных сейсморазведочных кабелей (ОБК), чтобы получить их положение и геометрию в воде или на морском дне. Используемые совместно с GPS, эти системы развиты для того, чтобы удовлетворить насущные потребности современных сейсмических судов, буксирующих множество сейсмоприёмников или разворачивающих донные сейсморазведочные кабели с точностью в несколько метров.

Однако, с возрастанием на больших глубинах придонных съемок, таких как многокомпонентная и электромагнитная (ЕМ) разведка, в настоящее время требуются другие методики акустического позиционирования в реальном режиме времени, которые бы были способны работать на глубинах более 3000 м, предлагая пользователям дополнительные услуги, такие как высокая скорость, данные телеметрии через слой воды.

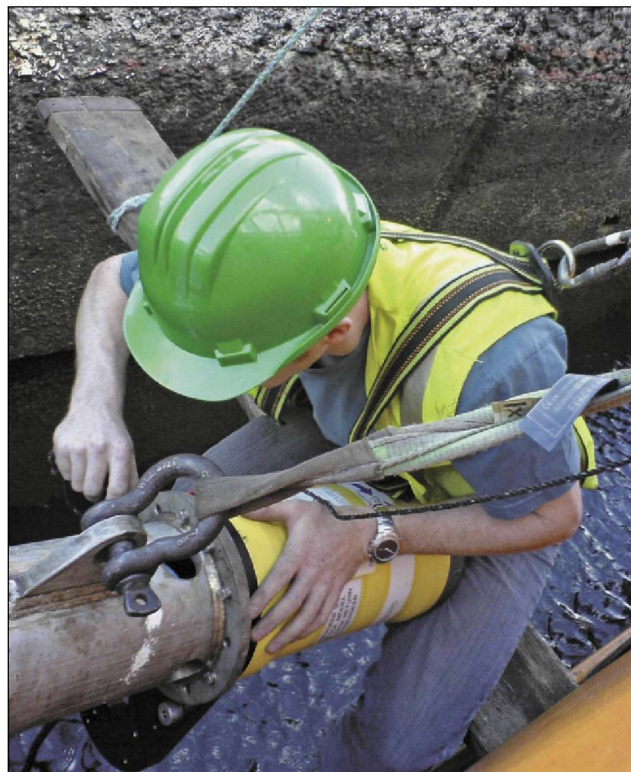
Единственная методика, успешно удовлетворяющая этим требованиям, известна как ультракороткая базовая линия (USBL), широко использованная в морском проектировании и океанографии.

По сравнению с только дальномерной методикой, использованной для буксируемой и большей части ОБК сейсморазведки, USBL системы измеряют и расстояние до объекта (или скорее акустического приёмопередатчика, прикрепленного к объекту) и пеленг (азимут и отклонение) поступающего сигнала или фронта волны (см. рис. 1). В примере ЕМ съемки USBL дает возможность определить положение узлового пункта и буксируемого ЕМ источника, которые вычисляются относительно судна. Так как судно в море испытывает бортовую качку, килевую качку, отклонение от курса (рыскание) и вертикальную качку, необработанное акустическое местоположение должно быть исправлено. Чтобы получить оценку действительного местоположения, используют высокоточные датчики перемещения, помещенные на судне, и данные, тщательно объединенные во времени с GPS информацией. Результатом является многодатчиковая система, которая может в течение одной-двух секунд очень точно определить положение многочисленных объектов на глубинах от нескольких метров до нескольких тысяч метров.

Сейсмическая разведка быстро признала преимущества, предложенные методом USBL, и эти системы теперь постоянно используются при всех видах съемки. При съемке ОБК небольшие приёмопередатчики (транспондеры) присоединены к сейсморазведочному

кабелю, позволяя определить последнее положение кабеля, и могут быть использованы для прослеживания при буксировке его судном, чтобы определить смещения, вызванные приливо-отливными течениями. Возвращаясь к ЕМ съемкам, модульные блоки, оснащенные USBL приёмопередатчиками (транспондерами), могут буксироваться во время их погружения на дно моря и фиксации их конечного положения. Системы, подобные Sonardyne's Fusion и Ranger USBL, могут также содержать канал управления, включающий определение положения модуля, срока действия батарей, состояния дискового пространства и даже небольшие пакеты зарегистрированных сейсмических данных, чтобы передать их телеметрическим путем на судно для анализа. После завершения съемки команда смены режима может быть послана в модуль, чтобы освободить его и поднять к поверхности.

Так как модуль возвращается на поверхность, он снова может буксироваться судном, которое должно маневрировать так, чтобы крюк крана находился непосредственно над модулем, что позволяет быстро вернуть его на борт. Все это улучшает эффективность действия и минимизирует возможную потерю дорогостоящего сейсмического оборудования и данных.



Установка приёмопередатчика Sonardyne USBL на разворачиваемом за бортом буфере.

Морская сейсморазведка

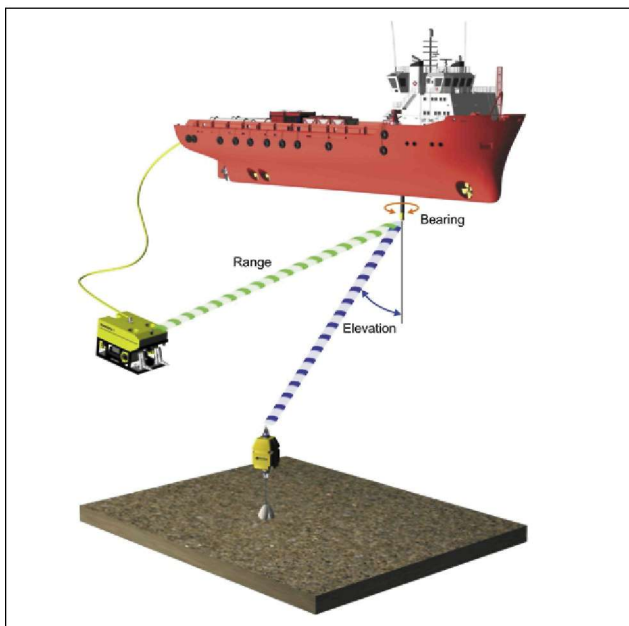


Рис. 1 Системы USBL позиционирования рассчитывают с судна положение подводного объекта, измеряя расстояние и беря пеленг транспондера.

Как было описано, метод акустического позиционирования USBL способствует определению местоположения большого числа подводных объектов разной геометрической формы и расстояния от судна. С другой стороны, существует множество источников погрешностей, и требуется технический уход для того, чтобы обеспечить работу системы, настройку ее и облегчить по возможности интерпретацию потребителям. Так что же включают в себя операции?

Точность, систематическая погрешность и достоверность

Системы USBL могут быть высокоточными, но ошибочными из-за систематических погрешностей, или могут быть достоверными, но иметь случайную ошибку, обусловленную случайными погрешностями (рис. 1). Только с пониманием природы ошибки, вы можете надеяться учитывать их.

Отношение сигнала к шуму

Качество позиционирования сильно подвержено влиянию уровня сигнала от буксируемого объекта относительно уровня фоновых шумов (SNR), сопровождающего приемопередатчика USBL под судном. Снижение SNR (отношение сигнал/помеха) порождает увеличение случайной погрешности. Шум от двигателей и механизмов на судне сильно меняется от судна к судну и имеет тенденцию возрастать в тяжелых погодных условиях, так как двигатели работают более интенсивно. Очень важен выбор и приведение в действие правильного приемопередатчика для судна.

Выбор правильного приемопередатчика чрезвычайно важен. Чем выше выходная мощность, тем больше SNR. Это либо улучшает производительность системы, либо увеличивает рабочий диапазон. Увеличение выходной мощности сокращает срок действия батареи, и поэтому важно выбрать приемопередатчик, который имеет

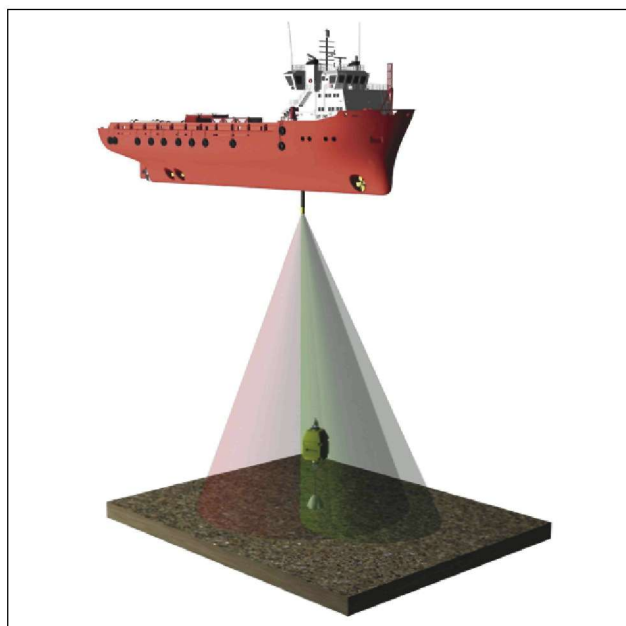


Рис. 2 Случайная погрешность (красный конус): вызвана разбросом положения около точного положения бакена. Систематическая погрешность (зеленый конус): вызвана систематическим разбросом положения на некотором расстоянии от точного положения бакена.

достаточную производительную мощность, гарантируя низкие случайные погрешности, в то же время обеспечивая достаточный срок действия батареи. Например, имеются приемопередатчики, использующие современные методы обработки цифрового сигнала, которые могут увеличивать SNR без наличия максимального уровня производительной мощности и, следовательно, размера транспондера в модуле или сейсморазведочном кабеле. К тому же направленные датчики фокусируют полезный сигнал предпочтительно в направлении смонтированного на корабле USBL приемопередатчика, не теряя энергию, когда работы проводятся на большой глубине или на далеком расстоянии.

Вертикальная наводка

Когда приемопередатчик находится под судном, оценка глубины максимально хорошая, при условии, что средняя акустическая скорость (SV) через столб воды, в основном полученная из измерения расстояния, достоверна (рис. 3). Когда транспондер поднят выше,

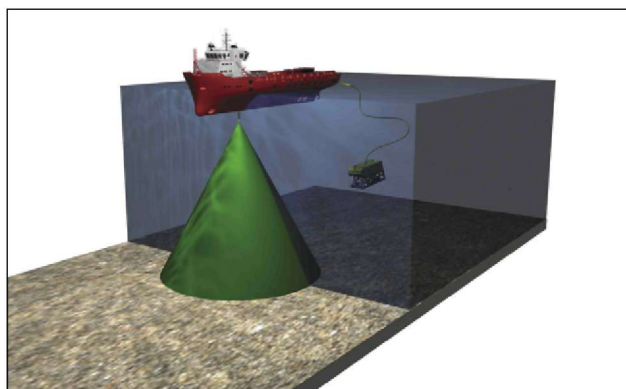


Рис. 3 Вертикальная наводка: Зеленый конус показывает область в 60° под судовым USBL приемопередатчиком. Вне этой области рекомендуется использование приемопередатчика на дополнительной глубине.

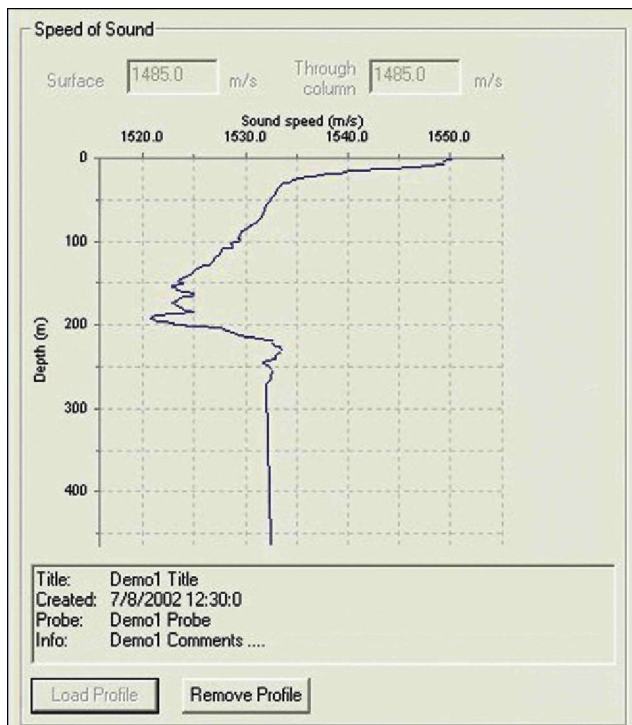


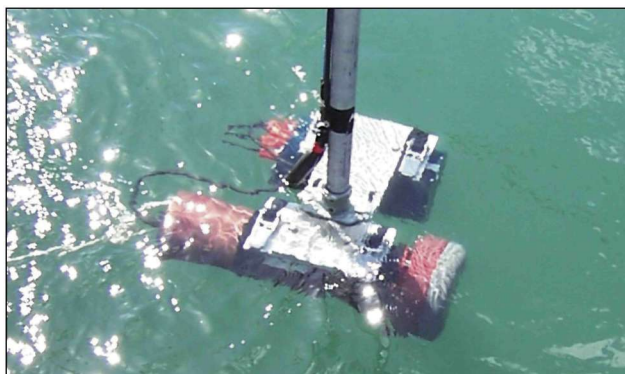
Рис. 4 Преломление: Профиль акустической скорости, показывающий изменение акустической скорости с глубиной.

оценка азимута или пеленга остается хорошей, но оценка величины подъема становится менее точной. Однако это может быть легко исправлено использованием вспомогательных измерений глубины, например, выбирая конфигурацию системы, которая использует глубинные датчики, часто вмонтированные в приемопередатчики.

Преломление

Системы USBL измеряют расстояние и направление до приемопередатчика (транспондера). Измерение расстояния может быть подвержено влиянию изменений эффективной SV по всей водной толще. Преломление обуславливает путь прохождения сигнала, который искривляется, так как скорость звука меняется, что означает, что измеренное расстояние будет иметь систематическую погрешность. Это является особым предметом обсуждения, когда транспондер буксируется с высоким углом подъема и на большое расстояние, так как время, которое тратит сигнал в каждом слое с определенной скоростью звука, будет меняться в зависимости от угла, под которым пересекается этот слой. Когда транспондер буксируется, в основном, под судном, преломление минимально, и поэтому с небольшим осложнением может быть использована средняя скорость звука.

Преломление не влияет на оценку горизонтального направления; однако, оно служит причиной того, что подъем транспондера оценивается с погрешностью, хотя система измеряет направление приема в приемопередатчик, а не истинное направление на транспондер. Когда работают при высоких углах подъема и на больших расстояниях, например, когда буксируется ЕМ источник с длинным наклоном назад, вспомогательные данные о глубине будут уменьшать возникающие и случайные, и систематические погрешности.



С инвертированными системами USBL (iUSBL) приемопередатчик устанавливается на ROV или прицепе и требует компенсации перемещения с подводного AHRS.

К тому же, если имеется в наличии профиль SV (рис. 4), то система может быть исправлена за систематические погрешности преломления. Однако, при использовании профилей SV важно учитывать, что профили могут изменяться внутри района работ. Профили SV могут существенно меняться в течение различных периодов прилива и отлива и между дневным и ночным временем. Использование неверных профилей SV может быть причиной более значительных ошибок, чем использование средней скорости звука.

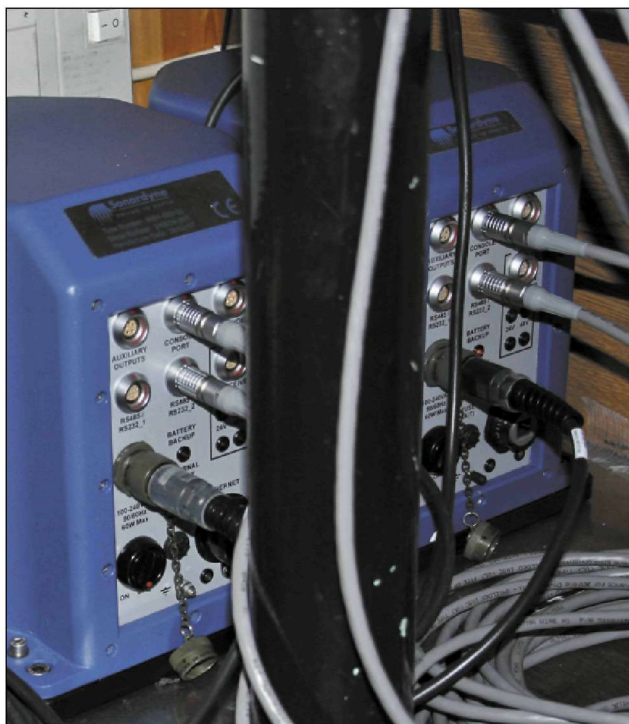
Датчики стандарта

Датчики перемещения на судне, использованные для корректирования данных USBL, бывают различного типа и стоимости. Качество их может чрезвычайно ограничивать качество позиционирования привнесенными случайными и систематическими погрешностями. Чем лучше датчик и установка, тем лучше рабочие характеристики всей системы. Системы USBL обычно поддерживают обширный ряд рабочих стандартов датчиков перемещения. Однако, важно убедиться, что точность установленного датчика согласуется с требуемой точностью и глубинами. Если они работают под судном, то килевая и бортовая качки являются особо важными. Если работают в стороне от судна, например, буксируемый под большим углом источник, более важной является точность датчиков ориентации.

Более старые датчики имели тенденцию к более низкому качеству и могли быть причиной погрешностей, обусловленных запаздыванием данных. Аналоговые датчики вывода информации могут вносить ошибки масштабирования и полярности, и важно убедиться, что датчики жестко закреплены, правильно настроены, расположены по возможности близко к центру килевой/бортовой качки на судне и компенсированы скоростью GPS и информацией на вводе. Также целесообразно осторожно относиться к выбору параметров фильтрации в датчиках, которые могут фильтровать все данные и вводить время запаздывания. Если время запаздывания известно, системы USBL могут быть настроены на компенсацию.

Если используются отдельные датчики килевой и бортовой качки и главный (Гуго) датчик, то важно, чтобы две системы отсчета были выверены в пределах 1 градуса, или около этого для избегания ошибки. Это является существенным преимуществом объединенных главного и ориентированных датчиков.

Морская сейсмозвездка



Ориентация Sonardyne's Lodestar и блок пеленга специально предназначены для компенсации систем USBL за перемещение судна.



Размещение подводного приемопередатчика во время процедуры калибровки системы USBL.



Установка приемопередатчика USBL на корпусе буфера. Этот метод обычно используется, когда система должна быть постоянно установлена на судне.

98

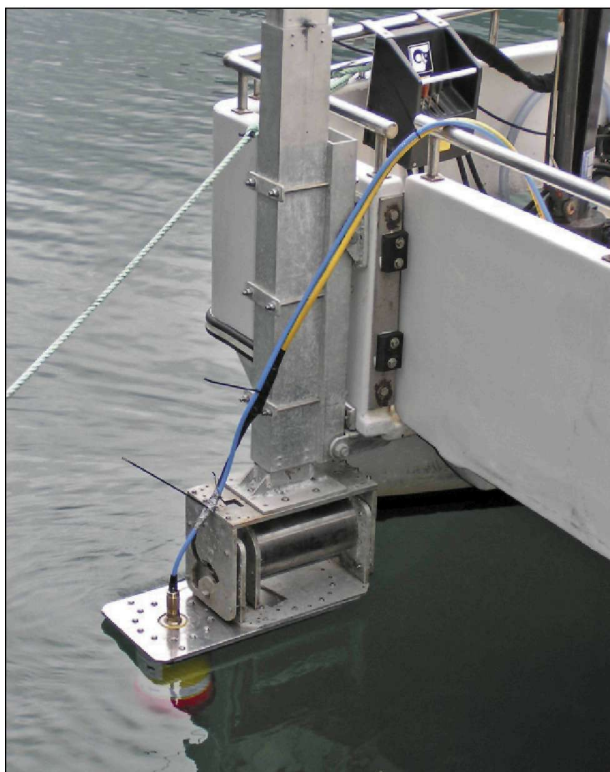
Размещение приемопередатчика USBL

Важным является размещение приемопередатчика USBL. Он должен быть идеально жестко вмонтирован в судно под килем на достаточном расстоянии от аэрации, вызванной погодой или судном. Датчик компенсации перемещения может быть вмонтирован в центре килевой и бортовой качки судна, где он подвержен минимальному ускорению, вызванному движением судна. Не всегда целесообразно устанавливать долговременную систему, поэтому требуются альтернативы. Опыт показывает, что если требуется тщательность, то место спуска и подъема оборудования на судне и размещение забортных систем могут быть очень точным.

В этих случаях, устанавливая объединенные главный и ориентированные датчики в верхней части буфера для спуска и подъема оборудования или на штанге развернутой системы, можно компенсировать перемещение относительно судна, как например, опуская и поднимая штангу. Если штанга существенно изгибается, тогда несмотря на большую подверженность различным воздействиям размещение датчика у основания штанги может улучшить режим работы компенсации за искривление штанги.

Контроль точности системы

Как отмечено, показатели работы системы USBL меняются, таким образом, пользователям важно знать текущие фактические характеристики, достигнутые на конкретном судне. Транспондер должен быть развернут на надлежащей глубине воды. Программное обеспечение USBL руководит оператором в течение всего процесса сбора данных, где данные о расстоянии и наблюдения GPS собираются во время серии маневров



Забортные буферы обычно используются, когда при благоприятной возможности приемопередатчик должен быть временно установлен на судне.

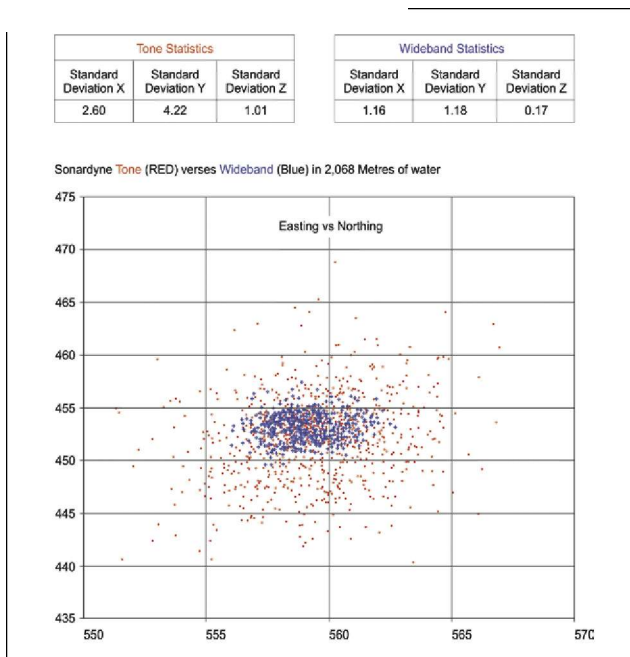


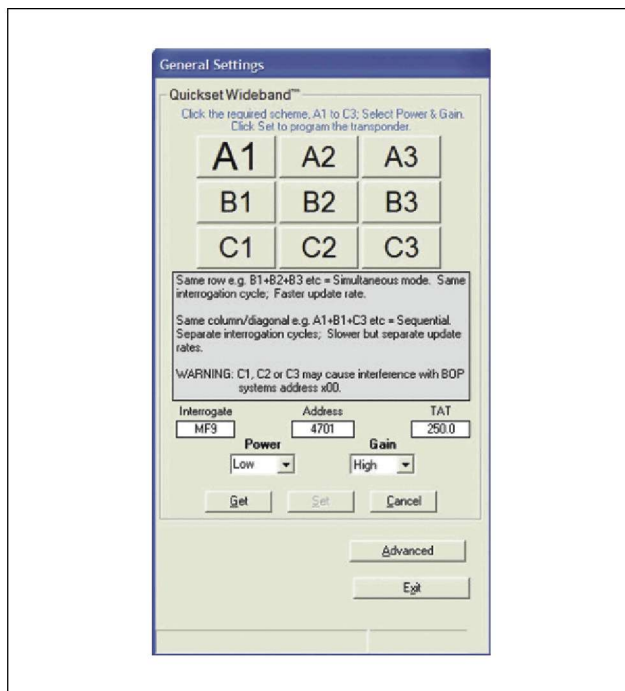
Рис. 5 Диаграмма разброса, иллюстрирующая существенное улучшение повторяемости и точности широкой полосы частот сигналов (голубой цвет) по сравнению с обычными акустическими сигналами тоновой посылки (красный цвет).

судна. Одновременно регистрируются данные USBL и датчика перемещения. Программное обеспечение, встроенное в систему USBL, может обеспечить пользователю и заказчику запись контроля точности, содержащую действительную точность системы USBL. К тому же оно вычисляет смещения антенны GPS по акустическому приемопередатчику, поправки за испытанные системой килевую, бортовую качки и изменение курса и акустической скорости в толще воды.

Увеличение скорости обновления

До некоторой степени, случайная погрешность может быть понижена накоплением большего числа наблюдений. При достаточном времени измерения и стационарности объекта большая точность местоположения может быть получена в результате осреднения наблюдений. Увеличивая скорость обновления и используя режим приемника (респондент), в котором транспондер запускается электрически, но дает ответ акустически, большая точность местоположения может быть достигнута в течение более короткого периода времени.

Некоторые системы могут использовать методы одновременного опроса, где все транспондеры отвечают на единственный запрашиваемый сигнал каждого цикла позиционирования. Это не всегда возможно, если транспондеры приобретаются у разных поставщиков и требуют сигналов индивидуального опроса для каждого транспондера. Другая польза одновременного опроса заключается в том, что он уменьшает количество сигналов, оставляя больший частотный диапазон для пользования другими судами. Когда работают на глубине, метод акустического опроса посредством «суммирования звуковых импульсов», разработанный Sonardyne, позволяет пользователям системы USBL проводить акустический опрос по донным



Служебная сервисная программа программного обеспечения, которая обеспечивает пользователей набором легких в применении заданных каналов при работе с приемопередатчиками.

транспондерам до тех пор, пока не получен последний ответ. Это может существенно улучшить режим динамического отслеживания, создавая более сглаженный трек.

Широкая полоса частот для улучшения показателей работы системы

Широкая полоса акустических сигналов улучшает характеристики USBL, позволяя использовать большее число транспондеров, избегая проблемы, связанные с интерференцией. Это также улучшает SNR, как обсуждалось ранее, уменьшая случайные погрешности, в частности, относящиеся к шуму судна (рис. 5). Другая возможность заключается в уменьшении выходной мощности транспондеров и увеличении срока действия батареи. Сигналы будут более сильными, улучшая, таким образом, регистрацию в жестких условиях, в частности на высоких поднятиях или там, где существует реальное устойчивое многолучевое распространение.

Выводы

При хорошем планировании, установке и конфигурации производительность системы USBL при съемке исключительна. Выбор самых подходящих для конкретного судна приемопередатчиков USBL, правильный транспондер для применения и установка совместного главного и ориентированных датчиков хорошего качества в правильном месте являются ключевыми объектами для рассмотрения, чтобы иметь высококачественную навигацию и позиционирование, особенно важные для любой успешной сейсмической съемки. Также важно быть уверенным, что развертывание USBL является жестким или отсутствие жесткости соответствующим образом компенсируется там, где необходимо. Другие шаги в отношении конфигурации оптимальной системы включают контроль достигнутой фактической точности, калибровку системы по специальным программам, использование вспомогательной глубины и профилей SV, когда требуется, и наилучший метод опроса.