

A Robust Approach to 4-D OBC Acquisition

Новый метод регистрации 4-D OBC сейсмосигналов

Jim Musser, Dave Ridyard, Input/Output, Inc.

Джим Мюссер, Дэйв Ридьярд, Input/Output, Inc.

With many developments and enhancements over the years, ocean bottom cable (OBC) technology has provided excellent data and value for many geophysical and operational problems. However, due to var-

Благодаря многочисленным усовершенствованиям, сделанным в последние годы, донные кабели (OBC) позволяют получить высококачественные данные и решить многие геофизические и технологические проблемы. Однако, по многим причинам, качество данных не всегда соответствовало ожиданиям. Кроме того, стоимость работ (реальная или субъективная) ограничивала широкое использование донных кабелей. Во многих случаях для снижения стоимости работ с донными косами допускались компромиссы в проектах полевых работ, что неизбежно приводило к разочарованию после обработки данных – съемки с недостаточной плотностью наблюдений и площадью непригодны для корректной структурной миграции.

Главная проблема для сейсмопартий с донными косами – использование слишком большого количества судов при полевых работах. Типичная партия включает по меньшей мере три судна. Одно или два судна предназначены для укладки кос, а еще одно судно оснащено источником колебаний. В идеальном случае, судно с источником должно работать почти непрерывно. Еще одно судно, обычно расположенное в центре приемной расстановки, соединено со всеми донными косами, регистрирующими данные. Это судно составляет значительную часть стоимости сейсмопартии, при том что оно само создает трудности для выполнения работ и сбора высококачественных данных вследствие:

- значительного времени на переход судна на новые точки, включая время на снятие и установку маркерных буйев;
- вероятности смещения части приемных донных кабелей при переносе соединительных кабелей на новое место, что создает неопределенность в контакте приемников с грунтом и непостоянство статпоправок, а также дополнительного времени на проверку новых положений сдвинутых приемников;
- повышенных затрат топлива, загрязнения окружающей среды и необходимости задействовать в полевых работах многочисленный персонал, что усложняет вопросы ТБ.

ет вопросы ТБ.

Лучшая методика работ с донными косами

Электроника с низким потреблением энергии, беспроводные сети и компактные компьютеры делают возможным создание дистанционной регистрирующей системы, способной записывать 1 000-канальные сейсмограммы в автономном бую (рис. 1). При использовании такой технологии, 60-



• Fig. 1. A VectorSeis Ocean Recording Buoy.
• Рис. 1. Регистрирующий буй VectorSeis Ocean.

ious issues, image quality has not always met expectations, and cost concerns (whether real or perceived) have limited the widespread use of OBC data. In many cases, OBC users have simply assumed that the technology is too expensive and have made unwise cost-cutting compromises in survey design, inevitably leading to frustrating imaging failures – undersampled surveys with inadequate area for proper structural migration.

PHOTO: • ФОТО: INPUT/OUTPUT

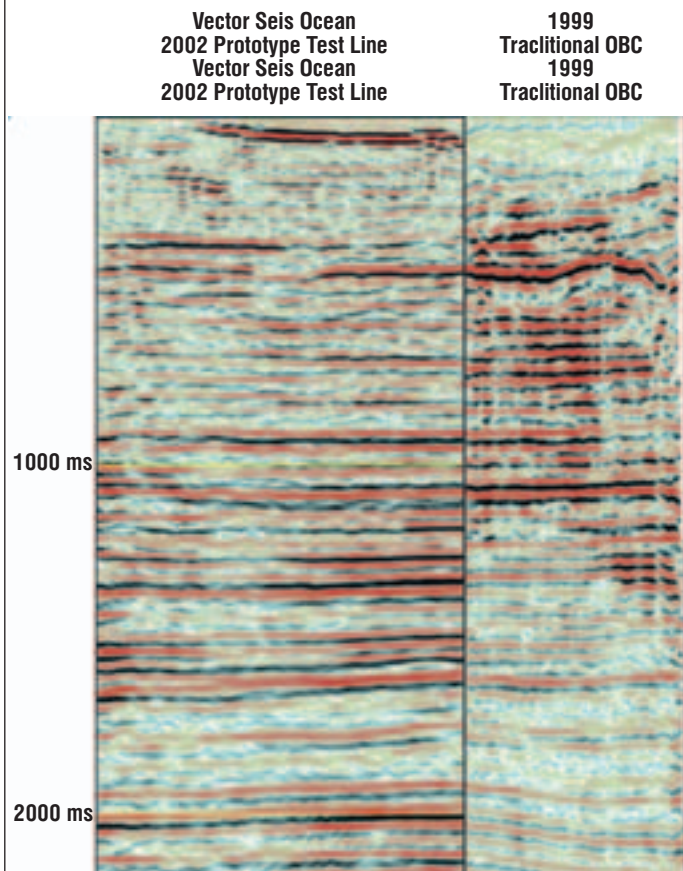
- Fig. 2. Data comparison showing OBC 2D line intersection. Note enhanced resolution and amplitudes in VSO data.
- Рис. 2. При сравнении видно, что данные, зарегистрированные с использованием комплекса VSO, отличаются более высокой плотностью и лучшим разрешением.

A major problem with many OBC crews is that there are too many boats in the field. A typical configuration consists of at least three vessels. One or more boats are used to move cables, and another operates the source. For an ideal operation, the source vessel should be shooting almost continuously. Another boat usually sits in the middle of the active receiver spread, connected to all the cables, recording the data. This vessel is a significant part of the crew cost with several potential operations and data quality problems:

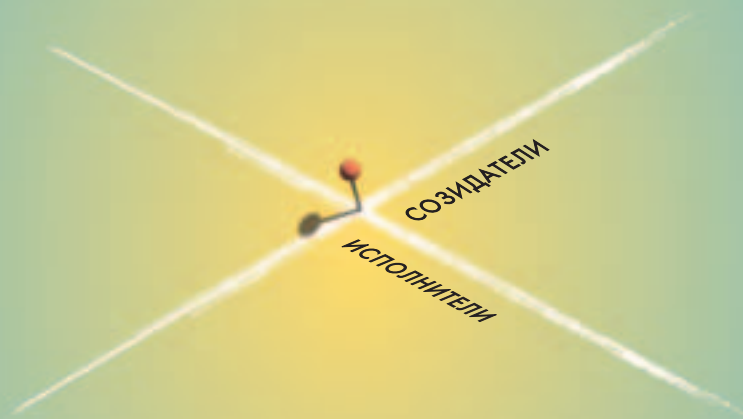
- Time spent moving the vessel from one location to another, including dropping and picking up marker buoys.
- Risk of moving the front end of the sensor cables while dragging jumper cables to a new vessel position, creating uncertainty and inconsistency of sensor coupling and statics, as well as the potential for additional time spent verifying new shifted receiver locations.
- Additional fuel consumption, environmental emissions and personnel required in the field, creating more HSE exposure.

A Better Way to Acquire OBC Data

Low power electronics, wireless networks and compact computing resources now make it possible to produce a



SOURCE • ИСТОЧНИК: INPUT/OUTPUT



Очень редко нужные люди встречаются в нужное время. В данном случае, это именно так.

Полноволновая съемка уже здесь. Прогрессивные сейсморазведочные компании, подрядчики и I/O встретились – для того, чтобы совместно извлечь выгоду из полноволновой съемки. Как первопроходец в данной отрасли индустрии, мы используем свое новаторское мышление для решения самых сложных проблем Ваших съемок. Мы предоставляем оборудование, программное обеспечение и

сервис для обеспечения технологичных решений под конкретные задачи. Все время в сотрудничестве с Вами для использования всех преимуществ полноволновой съемки. Применение этой съемки позволяет достичь значительного улучшения разрешения изображения верхней части разреза. Открытие. Добыча. Эффективные полевые работы. Все это – благодаря встрече. Вас и I/O.

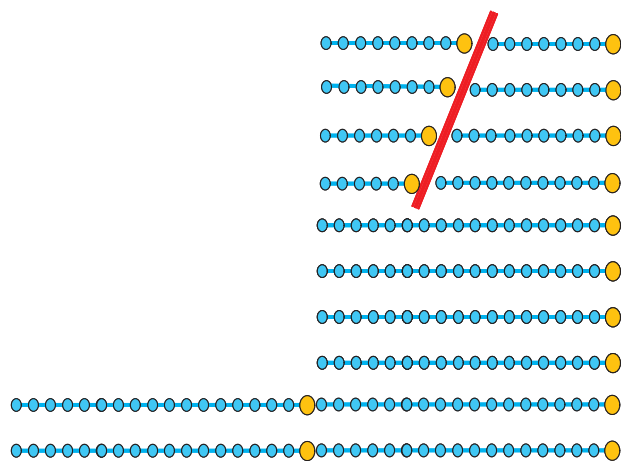


www.i-o.com / многоволновая широкополосная сейсморазведка

Построение многоволновых отображений. Заставьте технологию работать на Вас.

remote recording system capable of recording 1,000 channels of seismic data in a stand-alone buoy (Fig. 1). With such technology, a 60-80 m recording vessel can be replaced by a few recording buoys.

This can not only reduce crew operating costs, but it can also improve productivity and image quality by eliminating all the problems associated with dragging jumper cables and moving the recording vessel.



● Fig. 3. Buoy-based recording allows long and wide patches, even around obstructions, with a limited number of vessels.

● Рис. 3. Автономные буи позволяют регистрировать данные на больших площадях и вблизи препятствий при ограниченном количестве судов.

Since the cables need not be arranged to connect to a central recording vessel, cables can be deployed to meet any requirement; long offsets and/or wide azimuths, as well as acquisition near pipelines and other obstructions (Fig. 3).

An additional benefit is that the number of cables and receiver stations deployed is not limited by the capacity of a central recording system, allowing survey designers to create highly efficient large patches, further improving the quality of images, while reducing operating costs. Very efficient wide-azimuth survey designs can be easily acquired using source lines oriented perpendicular to the cables.

Modern Sensor Technology and Issues

In recent years, several micro-electro-mechanical (MEMS) digital accelerometers have been proven for seismic imaging applications. At least one of these sensors is now available for seabed (OBC) applications. The right choice of sensor, with appropriate processing techniques can significantly enhance the quality of a seabed seismic image. However, sensor selection is complicated by the need to remove water column reverberations, generally done by combining particle motion data (geophone or accelerometer) with pressure (hydrophone) data.

Industry expectations for the quality of OBC data are increasing. We expect to image deeper structures, while increasing the resolution of shallower images. Shear wave imaging is also providing more information about reser-

или 80-метровое регистрирующее судно можно заменить несколькими регистрирующими буями.

Это не только снижает стоимость полевых работ, но и повышает их производительность и качество изображения среды, благодаря исключению всех проблем, связанных с соединительными кабелями и переходами регистрирующего судна.

Поскольку в этом случае не нужно соединять все донные косы с центральным регистрирующим судном, их можно укладывать как угодно – для получения очень больших удалений и/или широких азимутов, а также для регистрации данных вблизи трубопроводов и других препятствий (рис. 3).

Дополнительное преимущество состоит в том, что количество донных кос и пунктов приема не ограничивается возможностями центральной электроники, что позволяет проектировать любые приемные расстановки, улучшая изображение среды и снижая стоимость работ. Высокоэффективные широкоазимутальные съемки очень легко обрабатывать с линиями возбуждения, перпендикулярными донным косам.

Современные сейсмоприемники

В последние годы в сейсморазведке нашли применение микроэлектронные цифровые акселерометры. По меньшей мере, один такой датчик уже можно использовать для регистрации данных на дне моря. Правильный выбор датчика и процедур обработки могут значительно повысить качество сейсмического изображения. Однако, нужно помнить о необходимости подавления реверберации в водном слое, что обычно достигается путем сочетания геофонов или акселерометров с датчиками давления (гидрофонами).

Ориентация сейсмоприемника

Для получения изображения на продольных волнах нужна вертикальная составляющая колебаний грунта, в то время как поперечные волны регистрируются на горизонтальных компонентах датчика. Для того, чтобы точно и одновременно записать всю информацию, содержащуюся в полном волновом поле, необходимо знать фактическую ориентацию сейсмоприемника на морском дне.

В прошлом вертикальная ориентация достигалась тремя путями:

- карданным подвесом – дорогим механизмом, к тому же не гарантирующим точность регистрации вектора колебаний;
- установкой датчиков с желаемой ориентацией на морском дне при помощи дистанционно-управляемых роботов, – эта процедура отнимает много времени и средств, а точность установки обычно составляет несколько градусов;
- оснастки донных приборов инклинометрами для определения наклона в ортогональных направлениях, но это увеличивает стоимость, сложность и размер измерительных приборов.

При использовании ненаправленных геофонов их ориентация устанавливается в результате сопряженного с ошибками и времяемкого процесса. Поскольку ненаправленные геофоны обычно имеют высокие собственные частоты (12-20 Гц), низкочастотные данные часто обладают низким отношением сигнал/помеха и сложными фазовыми характеристиками.

Новая альтернатива – использование акселерометров вместо геофонов. Поскольку сила тяжести является неизменной составляющей ускорения, то по трем идентичным ортогональным акселерометрам можно определять вертикальное направление просто путем анализа составляющей силы тяжести в плоскости каждого датчика. Акселерометр

voirs, particularly in areas obscured by gas clouds. In order to achieve success in these objectives, system performance at all phases of the imaging process must be optimized.

Particle Motion Sensor Orientation

P-wave imaging requires the vertical component of particle motion, while shear wave recording is based on the horizontal components. In order to accurately and simultaneously record all the information contained in the full vector wavefield, it is essential to know the true orientation of the sensor on the seafloor.

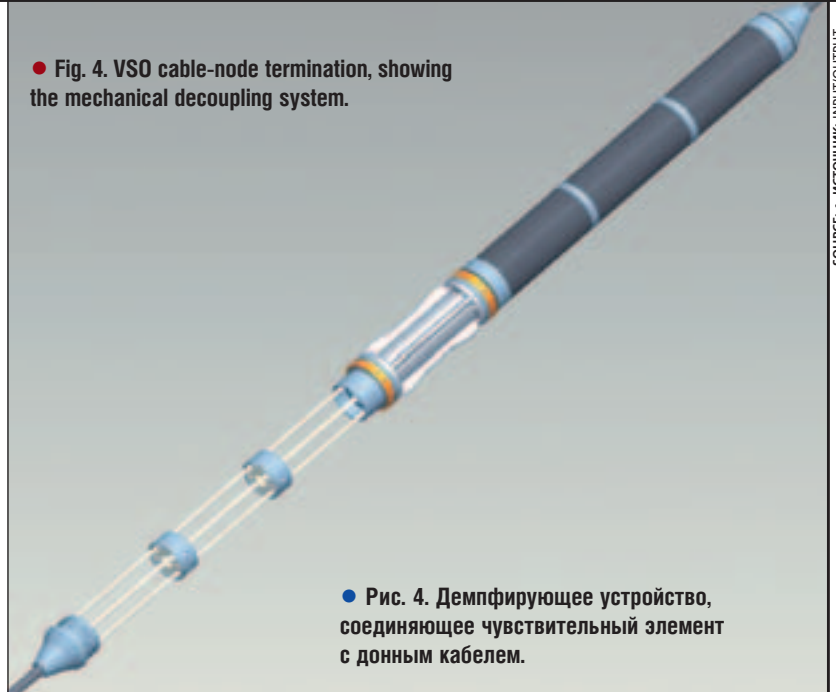
Historically, vertical orientation has been obtained in three ways:

- Gimbal mechanisms ensure vertical orientation, but are expensive, and create serious vector fidelity issues.
- ROVTs can plant sensors with a desired orientation on the sea floor, but also result in expensive and slow operations and planting inaccuracy of several degrees is still common.

- The use of omnidirectional geophones allows orientation to be extracted from the data through an error-prone and time-consuming process. Since omnidirectional geophones usually exhibit high resonant frequencies (12-20 Hz), data below this frequency are often subject to reduced signal to noise ratio and complex phase characteristics.

The use of accelerometers to replace geophones in seabed applications offers a new alternative. Since the non-varying component of acceleration is gravity, it is possible to configure three identical mutually orthogonal accelerometers to determine vertical orientation, simply by examining the component of gravity experienced in the plane of each sensor. The VectorSeis accelerometer has proven itself capable of determining vertical orientation to an accuracy of a few tenths of a degree. Since this measurement can be repeated every few seconds, this method has the advantage of identifying and correcting for any rolling of the sensors.

• Fig. 4. VSO cable-node termination, showing the mechanical decoupling system.



• Рис. 4. Демпфирующее устройство, соединяющее чувствительный элемент с донным кабелем.

VectorSeis определяет вертикальное направление с точностью до нескольких десятых долей градуса. Поскольку измерения можно повторять каждые несколько секунд, этот метод имеет преимущество выявления и корректировки любого перемещения (качения) датчиков на дне моря.

Сочетание с датчиками давления

Использование датчика VectorSeis дает определенные преимущества при комплексировании вертикальной компоненты с датчиками давления, а именно:

- в то время как геофон обладает сложной фазовой характеристикой вблизи собственной частоты, акселерометр VectorSeis обладает почти плоской характеристикой во всем сейсмическом диапазоне частот;
- в отличие от акселерометра VectorSeis, собственная частота геофона и его фазовая характеристика являются функцией температуры и даже его возраста.

SOURCE • ИСТОЧНИК: INPUT/OUTPUT



ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ НЕФТЯНЫХ РАЗЛИВОВ

Заградительные и сорбирующие боновые заграждения;
Оборудование для сбора нефти с водной поверхности;
Изделия из сорбирующих материалов;
Мобильные емкости для временного хранения собранной нефти;
Установки для утилизации (сжигания) нефтесодержащих отходов;
Специализированные плавсредства

115114, г. Москва
1-й Каляевский пер.,
д. 3, стр. 3
Тел./факс: (095) 735-81-88
(многоканальный)
E-mail: info@ecoligas.ru,
info@ecoligas.ru



Pressure Sensor Data Combination

The use of VectorSeis sensors also offers benefits to the P-Z summation process:

- While a geophone exhibits a complex phase response near its resonant frequency, the VectorSeis accelerometer exhibits an almost flat response throughout the seismic band.
- The geophone resonant frequency and associated phase response can change with temperature and even age of the sensor, whereas VectorSeis accelerometers are relatively immune to these problems.

However, we face a challenge in combining pressure data with accelerometer data. In order for the P-Z summation to work, we must convert the data to the same domain. We must either integrate the acceleration data to make it look like geophone data, or we must differentiate the hydrophone data before summation. For a hydrophone, this differentiation can be accomplished prior to A/D conversion very accurately using standard hydrophone termination circuits. This results in preservation of the maximum amount of the seismic signal across the desired bandwidth. This approach has the further benefit that all the signals can be subjected to identical instrument transfer functions, permitting simpler and more accurate P-Z summation.

Sensor Packaging

It is operationally advantageous to lay a cable under tension, which offers several benefits:

- Better control on inline and crossline spacing.
- Improved coupling of the sensor to the sea bed (self-burial).
- Better control of the in-line orientation of the sensors, allowing easier quality control of the data prior to full vector rotation.
- Reduced interstation cable costs and onboard cable storage space.


However, a cable laid under tension can exhibit two undesirable traits due to the rigid coupling of the sensor housing to the cable. First, it is susceptible to noise as water currents move across the cable. Second, it can act as an acoustic antenna, creating an in-line array effect, which degrades vector fidelity and phase reliability.

One solution to this problem has been to eliminate cables all together, and use independent sensor nodes. This approach introduces logistical challenges in the field, and suffers from other problems, such as flow noise around the bulky nodes, deployment and positioning, etc.

For the VectorSeis Ocean (VSO) system, I/O has selected an alternative approach. The sensor package is connected to the cable using a unique and patented mechanical decoupling device (Fig. 4) to provide 20 dB of attenuation between the cable and the sensor elements. This reduces cable noise problems, while enhancing sensor coupling with the sea floor and preserving all of the operational advantages of cable deployment.

Field Results

A prototype VSO system was tested on the Ekofisk field in the North Sea in the fall of 2002. The results of this test showed good data quality and resolution (Fig. 2).

The first fully commercial VSO system with six cables is currently operating in the Gulf of Mexico with approximately 1,500 4-component stations on 25-meter spacings. At the time of this writing, processed data from this crew are not yet available for publication. 

Однако, данные гидрофона нельзя напрямую комбинировать с данными акселерометра. Чтобы суммирование P-Z было эффективным, нужно пересчитать данные в одну область. До такого суммирования нам нужно либо интегрировать данные акселерометра, чтобы они выглядели как «геофонные данные», либо дифференцировать гидрофонные данные. В случае гидрофона дифференцирование нужно выполнить до аналого-цифрового преобразования очень точно, с использованием стандартной технологии КИХ-фильтрации, с максимальным сохранением сейсмического сигнала в нужной полосе частот. Этот подход имеет еще то преимущество, что все сигналы могут быть подвергнуты идентичным аппаратурным передаточным функциям, что позволяет выполнить более простое и точное суммирование P-Z.

Компоновка датчика

Технологически предпочтительнее укладывать донные косы с натяжением, что дает определенные преимущества, такие как:

- лучшее сохранение расстояний в продольном и поперечном направлениях;
- улучшенный контакт датчиков с дном моря (самозаглубление);
- лучшее сохранение ориентации датчиков в продольном направлении, что упрощает контроль качества до полного поворота вектора;
- снижение стоимости соединительного кабеля между пунктами приема и уменьшение помещения для хранения кос на борту судна.


Однако, донный кабель, уложенный с натяжением, может обладать двумя нежелательными особенностями из-за жесткого контакта корпуса датчиков с кабелем. Во-первых, подверженность помехам, создаваемым морскими течениями. Во-вторых, кабель может вести себя как акустическая антенна, создавая эффект группирования в продольном (инлайновом) направлении, что снижает точность вектора колебаний и надежность фазовой характеристики.

Одно из решений этой проблемы – использовать независимые донные станции вместо донных кабелей. Работы с донными станциями сопряжены с определенными трудностями, такими как помехи от воды, обтекающей крупные донные станции, их установка и определение местоположения.

При работе с комплексом VectorSeis Ocean (VSO), компания I/O предпочла альтернативный подход. Чувствительный элемент соединен с донным кабелем посредством уникального запатентованного демфирующего устройства (рис. 4), ослабляющего влияние кабеля на 20 дБ. Это снижает помехи, создаваемые кабелем, одновременно улучшая контакт датчиков с морским дном и сохраняя технологичность укладки кабеля.

Результаты полевых работ

Прототип комплекса VSO тестировался на месторождении Экофиск в Северном море в конце 2002 года. Были получены данные хорошего качества и высокого разрешения (рис. 2).

Первый коммерческий комплекс VSO с 6-донными косами в настоящее время используется в Мексиканском заливе (приблизительно 1 500 4-компонентных пунктов приема с шагом 25 м). Ко времени написания данной статьи еще не было получено разрешение на публикацию обработанных полевых данных. 



Мы всегда на высоте

Результативность.

Норвежская компания Гидро, поставщик энергии и алюминия, по праву гордится выполнением своих масштабных проектов.

Мы начали добычу на нашем новом нефтяном месторождении Гране, оцениваемом в 2,5 миллиарда долларов, на 3 недели раньше графика и потратили на 160 миллионов долларов меньше запланированного.

Мы опережаем график на газовом месторождении Ормен Ланге, стоимостью 10 миллиардов долларов, эксплуатация которого начнется в 2007 году.

Сейчас наша цель – участие в разработке Штокмановского месторождения в Баренцевом море, оцениваемого в 30 миллиардов долларов. Мы сможем выполнить проект точно по графику и в рамках бюджета.

Чтобы узнать больше о наших предложениях по проекту разработки Штокмановского месторождения, зайдите на: www.hydro.com/shtokman

Технологии. Результативность. Общество.

