

PGS представляет морской электровибратор, который займет место на рынке альтернативных сейсмических источников

PGS shows off electrical marine vibrator to capture 'alternative' seismic source market

Одним из экспонатов на недавней ежегодной конференции SEG в Хьюстоне был большой бледно-желтый объект эллиптической формы, который стоял у выставочного стенда Petroleum Geo-Services (PGS). «Реакция была ошеломляющей», - говорит Рюн Тенгхамн (Rune Tenghamn), вице-президент отдела морских технологий. Впервые внимание публики был представлен образец электромеханического морского вибратора для проведения сейсмических съемок, который вырабатывает энергию и имеет диапазон частот, сопоставимые с маленьким пневмоисточником или зарядом динамика.

Тенгхамн говорит, что PGS отвечает созревшей потребности промышленности в альтернативном источнике энергии, который бы удовлетворял специфическим обстоятельствам морских съемок. Возможно, здесь прежде всего имеются в виду очень чувствительные, с точки зрения окружающей среды, районы, где беспокойство морских млекопитающих делает использование пневмоисточников неуместным. Другой областью применения морского вибратора может стать донный источник для постоянного мониторинга резервуаров на основе использования сейсмических методов. «На сегодняшний день нашей основной задачей было показать всем, что этот прибор работает», - говорит Тенгхамн. Сам он заинтересовался альтернативными сейсмическими источниками еще до присоединения к PGS, и в 1994 г. на ежегодной конференции EAGE в Париже представил работу об электрических источниках.

В PGS идеи, сформулированные еще в середине 90-ых, стали воплощаться в 1999 г. Тогда начали проводиться эксплуатационные испытания морских вибраторов, которые завершились в 2002 г. «С тех пор мы не добились какого-то особого прогресса в технологиях, но мы считаем, что пришло время представить наше изобретение на суд публики. Мы в курсе, что сейчас вокруг альтернативных источников ведется много обсуждений, и мы надеемся, что они станут поводом для сотрудничества и наш образец станет коммерческим продуктом, чьи экономические и эксплуатационные преимущества очевидны».

На протяжении нескольких десятилетий, пневмоисточники доминировали на морском сейсмическом рынке. Ко всеобщему удивлению, за это время было представлено совсем немного новых идей. Так, например в 80-ые гг. велись разработки морских вибраторов. Эти источники предназначались преимущественно для глубоководных морских сейсмических приложений. Но их производство было ограничено по причинам высокой цены, управления, сложностей эксплуатации и др. В конце 90-ых PGS приступила к разработке совершенно нового электромеханического морского вибратора. Целью проекта было создание 100 % воспроизводящего малозатратного источника с высокой энергоемкостью в полосе частот 6-100 Гц, с размером и весом, который позволил бы легко эксплуатировать его на месторождении. Вибратор рассчитан на регистрацию данных на мелководье, сейсмический мониторинг и использование в чувствительных районах. Этот проект может рассматриваться и как первый шаг в направлении создания нового глубоководного сейсмического источника. В рамках этой статьи рассматриваются некоторые аспекты конструирования и разработки низкочастотного датчика, а также примеры данных, полученных на месторождении с применением морского вибратора.

Разработка

Разработка морского вибратора для низкочастотного выхода требует особого конструктивного подхода. Источник использует так называемую флекстенсиальную оболочку уникальной формы. Важные параметры в конструкции флекстенсиальных датчиков прежде всего связаны с самой оболочкой и типом привода. Различные свойства датчиков были смоделированы при помощи средств, специально разработанных для таких целей. Эти компьютеризированные модели позволили сделать точные расчеты мощности источника, и таким образом достичь оптимального дизайна на ранних стадиях выполнения проекта.

Все низкочастотные источники столкнулись с проблемой слабой продуктивности в случае отсутствия хорошего соответствия импеданса. Излучение от поршня радиусом 0.3 м на исходном уровне в 195 дБ (относительно 1 нПа) дает эффективность в 0.074% при 10 Гц. Тот же самый поршень дает эффективность в 99.9% при 10 кГц. Было найдено два способа преодоления этих проблем. Источник должен был иметь резонанс в интересующей полосе частот, и для обеспечения высокой эффективности использовалось два морских вибратора

с общей полосой частот в 6-100 Гц. Первый вибратор работает на частоте 6-20 Гц, а второй на частоте 20-100 Гц.

PGS разработала уникальную концепцию, на основе которой и была смоделирована конструкция. Помимо флекстенсиональной оболочки, привод использует электрическую обмотку, работающую в магнитном поле, и пружинистые элементы, которые передают энергию от электрического привода к флекстенсиональной оболочке (рис.1). При аккуратной конструкции удалось создать два резонанса. Низкий резонанс исходил от оболочки, взаимодействующей с флюидной массой, а второй резонанс - от пружинистых элементов. Обеспечение двух резонансов, разделенных в полосе частот, дает возможность достижения высокой эффективности. Эта уникальная концепция позволяет создавать высокую мощность с двумя источниками от 6 до 100 Гц.

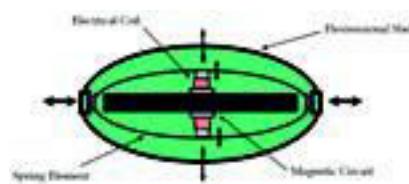


Рис.1 Принцип магнитного привода в флекстенсиональной оболочке морского вибратора PGS.

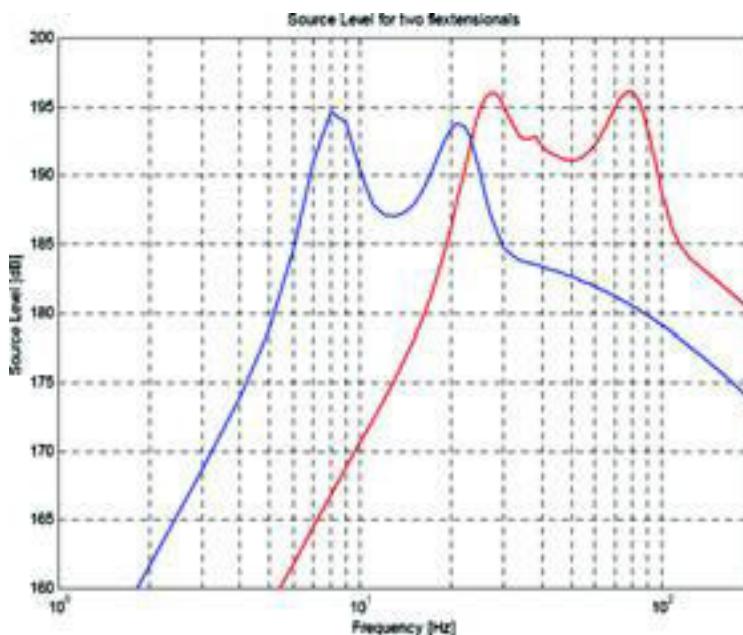


Рис. 2 Комбинация амплитудных спектров для «Субтона» (низкая частота) и «Тритона» (высокая частота).

Ожидаемые частотные отклики от двух морских вибраторов показаны на рис. 2

Электрические морские вибраторы

Как было сказано выше, использование двух акустических источников позволяет достигать общей эффективности примерно в 25%, что очень много. Высокочастотный источник (20-100 Гц) называется «Тритон», а низкочастотный (6-20 Гц) – «Субтон» (рис. 3). Комбинации двух источников легко достичь, пуская один сигнал с 20 Гц, а другой с 6 Гц. Затем они по отдельности коррелируются до суммирования.

Электрические морские вибраторы имеют несколько операционных преимуществ. Здесь не существует ограничений на частотные отклики, за исключением низкой эффективности за пределами частотного диапазона. Этот факт лег в основу разработки системы контроля, которая делает акустические источники воспроизводимыми в течение всего времени. Наличие цепи обратной связи для контроля выхода значит, что можно достичь не только высокого уровня воспроизведения, но и ослабления гармонических колебаний. На рис.4 для сигнала, генерируемого на частотах от 20 до 100 Гц, можно увидеть резкие изменения в гармониках.

Некоторые из них снижаются до более чем 30 дБ.

2D эксплуатационные испытания

PGS провела ряд эксплуатационных испытаний, целью которых было исследовать характеристики морского вибратора и сравнить результаты с показателями пневмоисточников. Одно сравнение проводилось на основе 2D данных, полученных

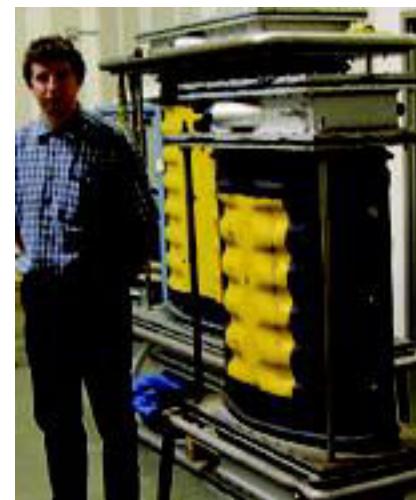


Рис. 3 Морские вибраторы «Тритон» и «Субтон»

вибратором, состоящим из Субтона и Тритона, и профиля полученного при пневмоисточнике 760 дюймов куб..

Данные от пневмоисточника и вибратора были обработаны по одной и той же методике, за исключением того, что к данным вибратора применялась корреляционная обработка и FK фильтр. Оба пакета данных регистрировались при шаге между пунктами взрыва в 25 м., и морской косой со 120 каналами и расстоянием между группами в 12,5 м.

На рис.5 представлен разрез после миграции по пневмоисточнику и вибратору.

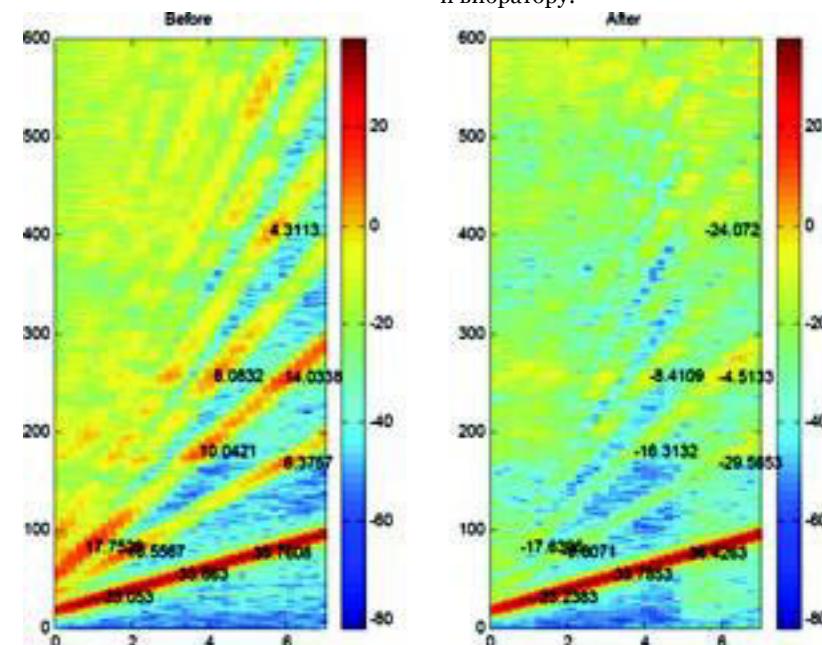


Рис. 4 Угасание гармоник с системой контроля морского вибратора.

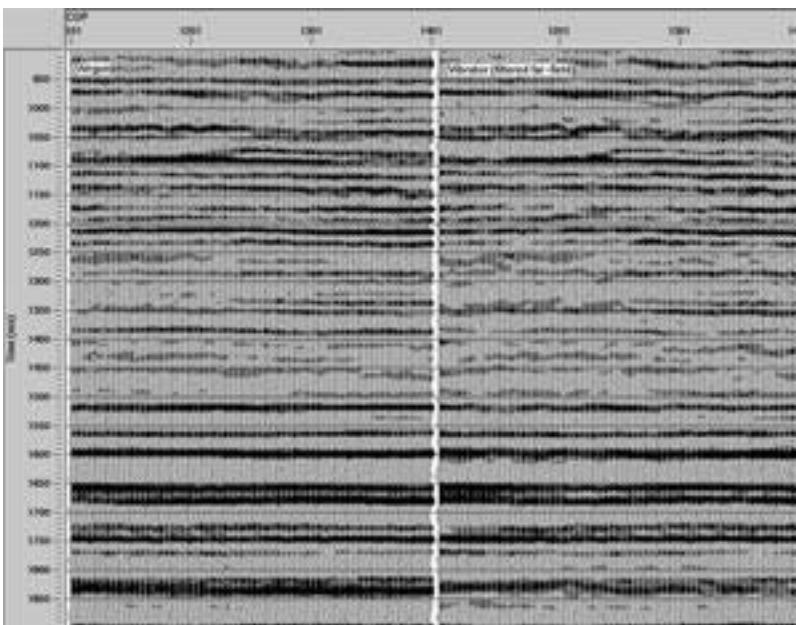


Рис. 5 Разрезы после миграции (на мелководье) от пневмоисточника (слева) и морского вибратора. Для сравнения фаза разреза вибратора поставлена в соответствие с данными от пневмоисточника.

На рис. 6 сравниваются более глубокие части разрезов после миграции данных от пневмоисточника и вибратора. На основе результатов, представленных на рис. 5 и 6, можно сделать вывод, что установка из вибраторов, включающая Тритон и Субтон, имеет глубину зондирования, сопоставимую с теми показателями, которые дает система пневмоисточников (760 дюймов куб.) Эти глубины сопоставимы, несмотря на значительную разницу амплитуд выходных сигналов пневмоисточников (~12 от пика до пика; 3-93 Гц) и вибраторов (~2 от пика до пика; 3-93 Гц).

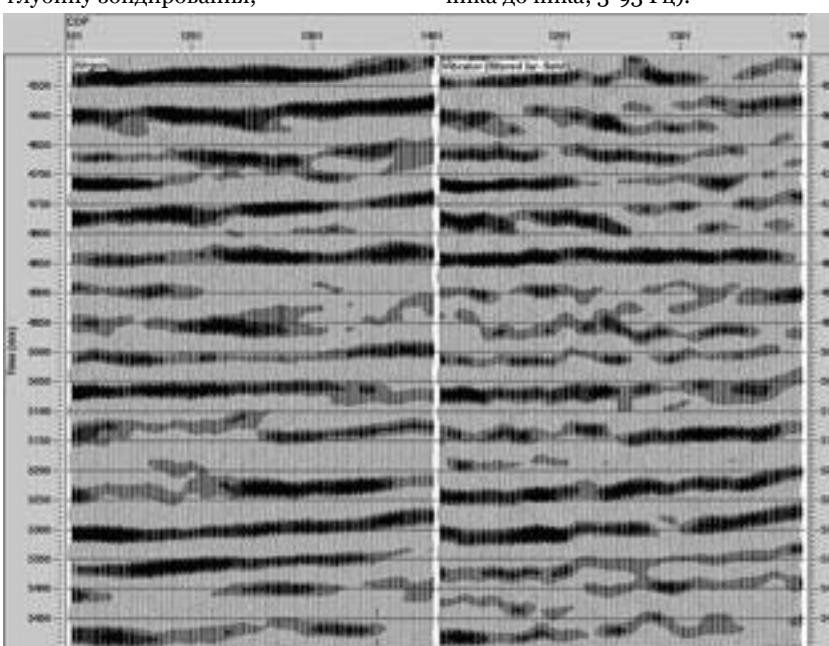


Рис. 6 Разрезы после миграции (на глубоководье) от пневмоисточника слева) и морского вибратора. Для сравнения фаза разреза вибратора поставлена в соответствие с данными от пневмоисточника.

3D съемка была выполнена для изучения глубоководных целей, и была получена при помощи пятифунтового заряда динамита, опущенного до глубины в 30 футов. Поскольку съемка проводилась на мелководном участке (4-6 футов), она была выбрана для сравнения с морским вибратором. Источники были установлены таким образом, чтобы минимизировать затраты энергии. Использовавшийся в этом испытании морской вибратор имел два составных элемента – Тритон и Субтон. Одной установкой они были опущены на дно. Оба они вибрировали одновременно. Частотный выход Тритона составил 20-90 Гц, а Субтона - 8-20 Гц. В этом испытании использовались только линейные сигналы. На рис. 7 изображена установка вибраторов. Субтон находится в середине, а Тритон на каждой из его сторон. Гидрофон, ведущий запись эм колебаний в ближней зоне поля, располагается недалеко от каждого из вибраторов. Расстояние между пунктами приема для линейного приемника было 50 м., а для поперечного - 400 м.

3D регистрация с использованием вибратора и динамита проводились одновременно. Общая площадь покрытия всей съемки составила 129 км², а площадь испытаний - 35.2 км².

Влияние волн-спутников на сейсмический источник, на его низкочастотные компоненты спектра выходной частоты будет увеличиваться по мере уменьшения глубины. Например, частотный компонент в 10 Гц для источника на глубине 4 футов затухает на 18 дБ.



Рис. 7 Система морского вибратора PGS.

Поэтому ожидается, что низкие частоты от мелководных источников (вибраторов) будут сильно ослаблены из-за разницы глубин вибратора (4 фута) и динамика (30 футов). Другими словами, ожидается, что данные от динамика будут содержать больше низких частот, чем данные от вибратора. Поскольку полоса 10-20 Гц составляет основную часть отраженного сигнала на интервале более 2 с TWT (двойного времени пробега), сравнение сейсмических данных от динамика и вибратора ограничено первыми 2 с TWT.

На рис. 8 и 9 показан временной срез в 1.5 с TWT, составленный на основе 3D кубов мигрированных данных при использовании вибратора и динамика. На основе этих рисунков можно сделать вывод, что съемки от вибратора и динамика дают похожие изображения разрезов.

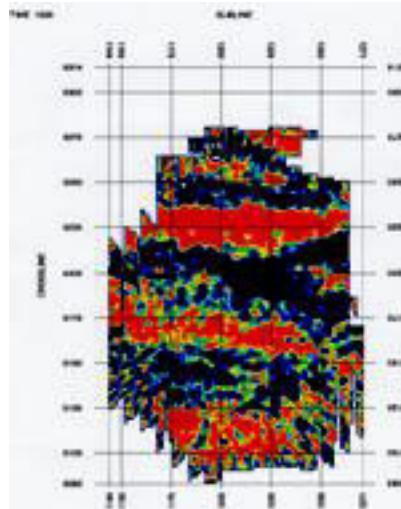


Рис. 8 Временной срез на 1.5 с TWT, полученный на основе 3D мигрированных данных морского вибратора.

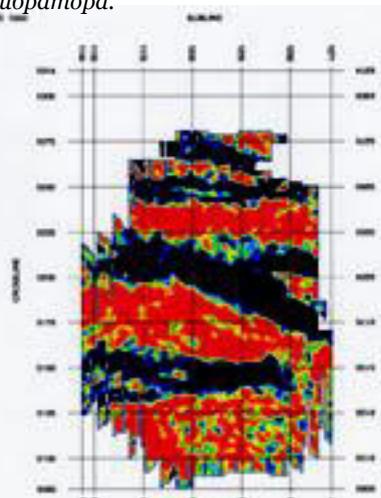


Рис. 9 Временной срез на 1.5 с TWT, полученный на основе 3D мигрированных данных от динамика.

Каналы, изображенные на этих временных срезах, внешне вполне сопоставимы. Как кажется, ширина канала немного уже на 1 рисунке, что говорит или о более высоком разрешении, или о более высоком содержании шума. На основе сравнения мигрированных разрезов и временных срезов, мы можем заключить, что оба источника дают похожие изображения. Данные от динамика содержат больше низких частот (10-25 Гц), которые обеспечивают большую целостность глубинных отражений (~ 1.5 с TWT). Эти результаты также позволяют нам сказать, что данные вибратора характеризуются немного более высокой полосой частот и разрешением. Таким образом, вибратор и динамит дают схожие изображения.

Вопросы окружающей среды

Морской вибратор имеет ряд преимуществ относительно вопросов среды. Его технология позволяет распространять энергию источника на протяжении большого количества времени, сокращая акустическую мощность, по сравнению с импульсивными источниками. Это выгодно для тех приложений, где достижение максимальной мощности проблематично. Это подтверждают гидравлические вибраторы, разработанные ранее.

Морской электровибратор обладает еще большим количеством преимуществ, по сравнению с гидравлическим. Здесь не требуется тяжелого оборудования и гидравлических систем, которые могут вызвать утечку гидравлического масла. Поскольку электровибратор требует только энергоснабжения, его легко можно транспортировать на различные судна и в другие места без каких-либо больших затрат на установку и без риска вредного воздействия на окружающую среду. Тот факт, что электровибратор может порождать производные типы сигналов, делает его применимым в тех случаях, когда можно еще больше сократить влияние на окружающую среду.

Приложения вибратора

Морские вибраторы, разработанные PGS, были испытаны в качестве буксируемого акустического источника на мелководье и в качестве стационарного источника в транзитных зонах (4-6 футов глубины). Данные виды приложений особенно подходят для такого типа источника.

Для того чтобы достичь достаточно высокой акустической мощности для первого случая, возможно, в наличии необходимо иметь установку из более чем четырех Субтонов и из 4 до 6 Тритонов.

Практически это возможно осуществить. Представляется реальным также создать портативную систему, которую можно установить с любого судна. В случае мелководной среды, вибратор-источник может быть развернут на одной из его сторон. Такое расположение позволяет работать на глубинах до 4 футов. В этом случае может быть использовано также несколько источников. В случае стационарной установки, имеется преимущество возможности «складывать» несколько сигналов. Удвоение некоторого количества сигналов даст улучшение в 3 дБ в отношении сигнал-помеха. Длинные сигналы также могут использоваться для увеличения акустической мощности. Морской вибратор может стать хорошим замещением там, где динамит не является оптимальным выбором.

Вибратор также может найти применение в мониторинге резервуаров, где воспроизводящие источники представляют большой интерес. Другим преимуществом резервуарного приложения является то, что источник может использоваться на любой глубине. Система компенсации атмосферного давления позволяет получать такую же акустическую мощность на любой глубине.

Заключение

Все те заявления, которые делаются в адрес выгодности морских вибраторов, можно отнести и к изобретению PGS. Новый морской электровибратор, разработанный этой компанией, имеет ряд эксплуатационных преимуществ и безопасен для окружающей среды. Это уникальные низкочастотные свойства, воспроизводимое и контролируемое кодирование произвольных сигналов, возможность использования на различных глубинах, отсутствие ограничений на частоту для цепи управления и фиксированный элемент в центре источника, поскольку мембранны дают симметричное излучение. Флекстенсиональный дизайн позволяет также создать хорошее значение импеданса.

Традиционные гидравлические морские вибраторы несут в себе ряд проблем, таких как низкая эффективность на низких частотах, отсутствие контроля на низких частотах, поскольку выходной сигнал попадает в минимальный уровень шума, по сравнению с входным, проблемы механического изнашивания, которые возникают по причине высокого потребления энергии и низкой эффективности.

Статья была написана Рене Тенхамном и Андрю Лонгом (Andrew Long), PGS. Версию этой статьи вы можете найти на сайте PGS (www.pgs.com).