

Denis MOUGENOT Sercel, Франция

Краткое содержание

Переход от суши к воде является одной из наиболее сложных зон для проведения сейсморазведочных работ. Из-за проблем, связанных с затратами и окружающей средой, это наименее изученная область и она является одним из последних рубежей для нашей отрасли. Транзитная зона представляет собой быстро меняющуюся последовательность сред с резко отличными характеристиками, для каждой из которых требуются свои методы сбора данных и оборудование. Перед производителями сейсморегистрирующего оборудования стояла задача обеспечения отрасли регистрирующей системой, позволяющей осуществлять непрерывное и гибкое объединение и управление этим различным оборудованием 24-х разрядные системы последнего поколения, например система 408UL компании Sercel, позволяют создавать непрерывную расстановку на суше и воде с глубиной до 50 м и осуществлять регистрацию данных со всех пунктов наблюдения с помощью одного Центрального блока регистрации, находящегося либо на суше, либо на воде.

Гибкость системы 408UL позволяет реализовывать системы наблюдения с различной конфигурацией, включая системы наблюдения типа patch, используемые при ограничении времени развертывания и возбуждения временем высокого прилива. Сейсмические данные, зарегистрированные с использованием различных источников возбуждения и приемников, постоянно отображаются, проверяются и сохраняются в Центральном блоке регистрации в реальном времени. Обработка этого набора данных имеет свои сложности, поскольку трассы от различных типов источников возбуждения и приемников могут относиться к одной и той же глубинной точке. Таким образом, перед выполнением суммирования трасс требуется выравнивание спектров и фаз, а также тщательное определение статистики. Рассмотрено также преимущество использования пары геофон-гидрофон при глубинах более 10 м.

Введение

Транзитная зона — область с наименьшим уровнем исследований с самого начала проведения сейсморазведочных работ. В основном, это объяснялось проблемами, связанными с затратами и окружающей средой, но также отсутствием подходящего оборудования и адаптированного графа обработки. С начала 1990-х годов сейсморазведка в транзитной зоне становится более распространенной, поскольку эта пограничная область зачастую соседствует с уже разрабатываемыми месторождениями на суше и в море. Сейчас коллекторы под транзитной зоной экономически выгодно разбуривать с суши, используя наклонное бурение с большим отклонением (установленный рекорд свыше 10 км отклонения в горизонтальном направлении), а разведка может быть выполнена с более приемлемыми затратами, поскольку стали доступны соответствующие регистрирующие системы.

Для описания этого оборудования и способа его использования в транзитной зоне мы используем в качестве примера наиболее широко распространенную (на сегодня продано 500 000 каналов) и

современную систему, используемую в отрасли систему Sercel 408UL. Однако предыдущая система SN388 также имеет некоторые возможности, необходимые для выполнения сейсморазведочных работ в транзитной зоне.

Особое оборудование

Требования к регистрации на суше, в болотистый участок, топкая низина, мангровые леса, рифы), на мелководье и в открытых водах неодинаковы. Обычные регистрирующие системы созданы для наземной разведки. На суше в качестве источников возбуждения, в зависимости от доступности местности, используются вибраторы или взрывчатые материалы; в качестве приемников используются группы геофонов, сигналы которых оцифровываются геофонным блоком, подключенным, как правило, кабелем к Центральному блоку регистрации. Четырехжильный телеметрический кабель (ST+), используемый в 408UL, имеет малый вес и создан для глубин менее 1 м.

Для работ в транзитных зонах усилие разрыва кабеля и водонепроницаемость кабеля и полевых блоков должны быть увеличены. Этим требованиям соответствуют характеристики кабеля WPSR системы 408UL (Таблица 1), что позволяет развертывать приемную линию на глубине 15 м и противостоять течению. Поскольку группа обычных геофонов, подключаемая к полевому модулю (FDU), не предназначена для использования под водой, датчики заменяются болотными геофонами, имеющими цилиндрическую форму и большую водонепроницаемость (кабель 1 рис 1). Ниже самого низкого уровня отлива легче использовать гидрофоны или группу, либо гидрофоны, вмонтированные в телеметрический кабель. Гидрофоны обеспечивают лучшую связь со средой и меньше шумят чем геофоны. Если грунт илистый или песчаный, то есть возможность опустить одиночные гидрофоны или болотные геофоны на глубину до нескольких метров.

По мере увеличения глубины или силы течения возникает необходимость предусматривать другие корпуса для полевых модулей и разъемов. Это обеспечено в системе 408ULS, которая имеет двухканальный модуль (FDU2S) с узким в сечении и интегрированным в линию алюминиевым

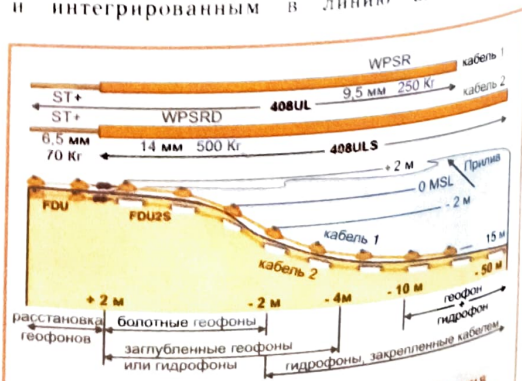


Рис. 1. Различные возможности развертывания в транзитной зоне кабелей системы 408UL/ULS и соответствующих датчиков.

Таблица 1

Кабель 408UL	Диаметр (мм)	Вес (Кг/Км)	Усилие на разрыв с разъемом (Кг)	Глубина воды (м)
ST+	6,5	47	70	1
WPSR	9,5	95	250	15
WPSRD	14	215	500	50

корпусом (кабель 2, Рис. 2). Для снятия усилия натяжения с разрыва на каждой из сторон погружного цифрового модуля предусмотрено специальная проушина (рис. 2). Усиленный Кевларом кабель (WPSRD, таблица 1) имеет усилие на разрыв в два раза большее, чем WPSR, и кабельные выводы для датчиков. Для подключения датчиков используются специально отформованные разъемы. В случае регистрации с одиночными датчиками, в качестве датчиков используются бодотные геофоны или гидрофоны, как и для кабеля 408UL.

Для глубин, превышающих 10 м, для компенсации воды спутников, оказывающих влияние на частотный состав информации, регистрируемой гидрофоном рекомендуется использовать двоянные датчики, представляющие собой комбинацию геофона и гидрофона (см. PZ суммирование в разделе, посвященном обработке). Для подключения двоянного датчика два вывода, расположенные между цифровыми модулями (FDU2S) должны быть заменены на один, т.е. кабель должен иметь специальную конфигурацию (рис. 2). Вертикальность геофона на такой глубине обеспечивается карданной подвеской. Картридж с двумя геофонами (Gemini) заполнен жидкостью, соединен с гидрофоном и прикреплен к телеметрическому кабелю лентой. Гидрофон отличается от тех, которые используются в стримерах, имеющих резонансную частоту 3 Гц. Его резонансная частота (10 Гц) и подавление низких частот (12 дБ/октава) согласованы с амплитудной и фазовой характеристиками геофона, что делает возможным суммирование.



Рис. 2. WPSRD кабель и цифровые полевые модули системы 408ULS. Выводы для датчиков имеют различное расположение, в зависимости от предназначения кабеля для одиночного датчика или сдвоенного (G: геофон; H: гидрофон).

В целом 408ULS является системой, которая может быть развернута на глубинах до 50 м, обеспечивая непрерывную систему наблюдения от транзитной зоны до открытой воды. Эта, допускающая полное погружение в воду система, иногда называемая "bay cable" достаточно легка для перевозки ее небольшими лодками и ручной расстановки. Благодаря использованию низкого напряжения питания (только ± 25 В) она безопасна для работников партии. Важнейшим элементом системы является кросс-линия, соединяющая

подводные кросс-модули (LAUXS) с Центральным блоком регистрации (Рис. 3). Линии, развернутые по обе стороны поперечного кабеля, могут иметь до 1000 каналов на каждой из сторон (т.е. 500 FDU2S для сбора данных в реальном времени при шаге квантования 2 мс). Через каждые 60 каналов (т.е. 30 FDU2S) в линию включен погружной модуль управления и питания линии (LAULS) с подключенной к нему погружной батареей (Besko стандартной 12 В батареей).

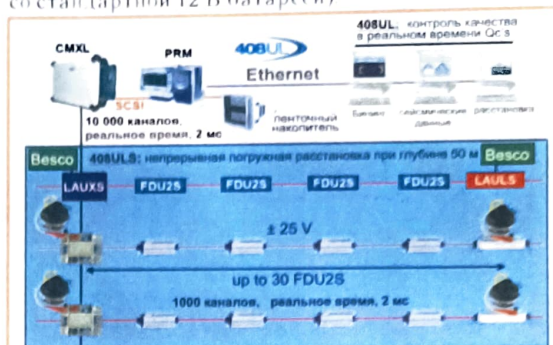


Рис. 3. Архитектура системы 408ULS. Все элементы в синей рамке могут быть развернуты на глубине 50 м. Центральный блок регистрации системы 408UL с той же системой контроля качества.

Полностью интегрированная с системой 408UL, система 408ULS может быть подключена к наземному оборудованию (Звено модулей FDU) с использованием того же Центрального блока регистрации. Устройства регистрации включают (рис. 3): модуль регистрации данных (CMXL), обеспечивающий регистрацию 10000 каналов в реальном времени с шагом квантования 2 мс; обрабатывающий модуль (PRM), рабочая станция, обеспечивающая управление вибросейсмическими и взрывными источниками возбуждения; система контроля качества, работающая в реальном времени, отображающая сейсмические трассы (e-SQCpro), биннинг (LandProBin), расстановку и источник возбуждения (HCI). Благодаря интегрированной системе отслеживания перемещения техники осуществляется постоянный контроль всех элементов партии, что обеспечивает безопасность и быстрое устранение неисправностей. Последняя версия (8.1) математического обеспечения 408UL позволяет записывать данные на картридж или на любой жесткий диск.

Конфигурации систем наблюдения

Конфигурация 3D наблюдения в транзитной зоне определяется несколькими параметрами, включая: имеющееся оборудование, основную глубину исследуемых геологических структур, направление течений и препятствия. Если возможно, то рекомендуется располагать профили параллельно береговой линии. Размещение параллельно сильным течениям вдоль берега облегчает развертывание и ограничивает шума кабеля. В идеальном случае (прямолинейная береговая линия) каждая приемная линия будет иметь только один тип оборудования, соответствующий определенной глубине (рис. 4а). В случае нерегулярного побережья линии включает различные сегменты, как это показано на Рис. 1. В зависимости от максимальной глубины исследуемого района (15 м или 50 м) и силы течения, погружаемым оборудованием будет либо усиленный кабель (408UL/WPSR, кабель 1 на рис. 1), либо "bay cable" (408ULS/WPSRD, кабель 2 на рис. 2). Все линии соединены, по меньшей мере, одним поперечным кабелем. Однако, для использования возможностей сейсмической пространственной сети, обеспечи-

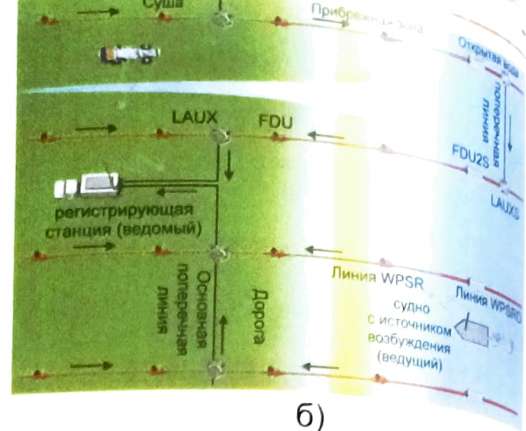
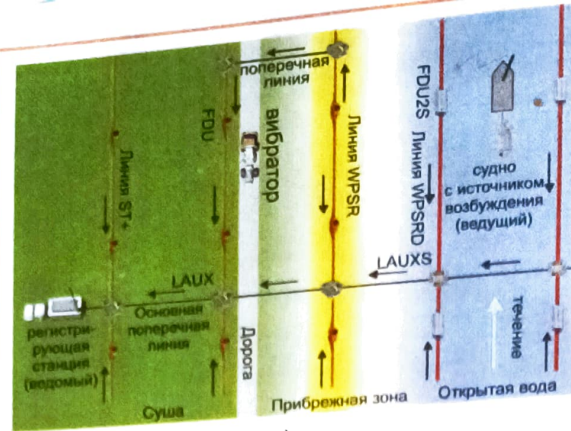


Рис. 4. Возможные конфигурации систем наблюдения в транзитной зоне с приемными линиями, разложенными параллельно (а) или перпендикулярно (б) береговой линии. Возможности использования различных маршрутов потока информации, благодаря нескольким поперечным линиям, показаны стрелками

ваемой системой 408UL, рекомендуется использовать несколько поперечных линий: в случае повреждения кабеля данные могут быть повторно направлены в Центральный блок регистрации по другому маршруту.

Другим подходом может быть размещение приемников перпендикулярно берегу с целью обхода препятствий, таких как, например, устья рек. Линии, включающие различные типы кабеля, соответствующие глубинам, соединены поперечными кабелями параллельно побережью (рис. 4б). В случае более сложной местности (рис. 5) можно рассмотреть возможность передачи данных по радиоканалу (LRU), а также использование полевых радиотелеметрических модулей (SU6-R). К каждому радиотелеметрическому модулю подключаются 6 пунктов наблюдения и их данные собираются в выносном радио-модуле (REM, обычно на расстоянии 13-24 км), подключенном к телеметрическому кабелю или к Центральному блоку регистрации.



Рис. 5. В сложной транзитной зоне использование 6-ти канальных радиотелеметрических модулей (СУ6-Р) может облегчить выполнение работ. Данные собираются полевым релейным радио-модулем (REM), подключенным к телеметрическому кабелю.

При всех отличиях в конфигурации систем наблюдения, для сохранения последовательности сейсмоданных вся установка регистрируется одним Центральным блоком регистрации: трассы сохраняются в той же записи и на том же картридже/диске, независимо от типа источника (вибратор, взрыв или пневмопушка) или типа приемника (геофон или гидрофон). Однако при возбуждении колебаний пневмопушками рекомендуется размещать второй Центральный блок регистрации рядом с системой управления и позиционирования источника, которая запускает пушки. При такой конфигурации блок регистрации

будет ведомым, а судно с источником — ведущим. Обмен данными между ними по радиоканалу.

Несмотря на то, что независимо от типа транзитной зоны, может использоваться одна и та же система, пользователи разработали особые методики и транспортные средства, позволяющие выполнять исследования наиболее производительным и безопасным способом. Это могут быть транспортные средства с гигантскими колесами или гусеницами, удобные в случае болот и тропических лесов, или судна на воздушной подушке и плоскодонные баржи с осадкой менее 1 м для мангровых зарослей и мелководья. Примером может служить Patch-методика и соответствующие судна, используемые CGG с 1991 г. в особых транзитных зонах с большими колебаниями уровней прилива и отлива. В этом случае важно успеть развернуть и зарегистрировать во время высокого прилива (около 4 часов) прямую установку, состоящую из нескольких приемных линий (часто 4), пересекаемых несколькими линиями возбуждения (рис. 6). Каждая линия разворачивается отдельными лодками вдоль от регистрирующего судна. Позиционирование кабелей на морском дне выполняется с помощью специальной лодки (Castor) с использованием специальных акустических сигналов излучателей, установленных на линии. Затем две лодки с пневмопушками отстреливают площадку и кабели удаляются перед тем, как уровень отлива станет слишком мал. Поскольку площадки перекрываются наполовину, как вдоль линий наблюдения, так и в поперечном направлении, то это обеспечивает достаточную кратность перекрытия в транзитной зоне.

Patch-методика применима там, где возбуждение колебаний осуществляется поперек приемных



Рис. 6. Patch методика сбора данных в транзитной зоне в районах с легко уязвимой окружающей средой с большими колебаниями уровня приливов и отливов. Для таких исследований CGG разработало специальные суда.



ТРАНЗИТНЫЕ ЗОНЫ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

линий (геометрия поперечной расстановки). Иногда, возбуждение проводится вдоль приемных линий. С более общей точки зрения, переход от одной активной расстановки к следующей мог бы быть выполнен повторением возбуждений в море, поскольку использование пневмопушек более экономично, чем перестановка приемников. На суше наоборот: стоимость возбуждений дороже развертывания приемных линий.

Особенности обработки

Не только сбор, но и обработка данных, полученных в транзитной зоне, имеет особенности, поскольку должно быть устранено влияние отличающихся поверхностных условий и использования различного оборудования. Важно учитывать, что трассы, зарегистрированные различными приемниками, при использовании различных источников возбуждения могут относиться к одному и тому же бину. Перед суммированием этих данных надо обязательно определить правильные статические поправки и согласовать фазовый и частотный состав трасс различного типа.

Целью введения статической поправки является внесение такого временного сдвига в каждую трассу, чтобы все наблюдения выглядели так, как будто они были зарегистрированы с одного и того же уровня. Даже если местность плоская, как это часто бывает в транзитной зоне, зона малых скоростей может быть сложной, с большими изменениями для различных участков транзитной зоны. Таким образом, полевая статика, определяемая по первым вступлениям, должна быть выверена плотной сетью микросейсмокаротаж, что может потребовать значительных затрат.

Для выравнивания трасс используются операторы, задаваемые для перекрывающихся записей, возбуждаемых вибраторами (нуль-фазовый сигнал после корреляции) и импульсными источниками (минимально-фазовый сигнал, рис. 7). С помощью этих операторов выполняют также обработку, связанную с отличиями в форме частотных спектров вибраторов или пневмопушек (плоская форма спектра) и взрывных источников

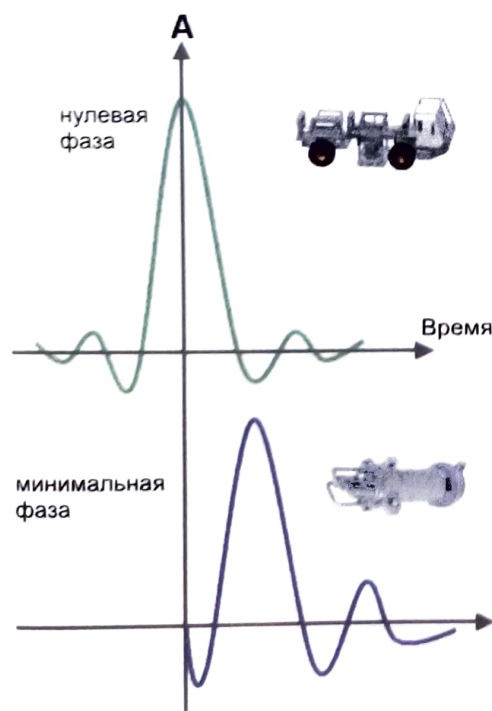


Рис. 7 Сравнение нуль-фазового сигнала, излучаемого вибратором (после корреляции) с минимально-фазовым сигналом импульсных источников (воздушная пушка и взрыв).

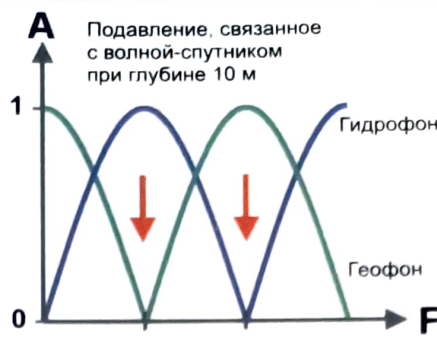


Рис. 8. Влияние волны-спутника на частотные спектры геофона и гидрофона при глубине воды 10 м. РЗ суммирование должно устранить эти провалы и обеспечить более гладкий спектр. А. амплитуда; F. частота

(спектр с резким пиком в области 20 Гц). Рассматривая приемную часть, мы уже отмечали, что амплитудная и фазовая характеристики геофона и гидрофона также предотвращают большие отклонения.

Другим важным параметром, который необходимо рассмотреть, является интерференция волн-спутников при установке приемников ниже поверхности моря. Это проблема имеет важное значение для гидрофона, когда толщина слоя воды достигает 10 м. При такой глубине волна-спутник ограничивает высокочастотную часть спектра частотой $F=1500\text{м/с}/2 \times 10\text{м}=75\text{ Гц}$ (рис. 8). При глубине 20 м $F=37,5\text{ Гц}$. Способом устранения этих волн-спутников является совместное использование геофона и гидрофона. Для геофонов подавление волн-спутника имеет место на частоте, равной половине частоты подавления гидрофона ($F=37,5\text{ Гц}$ при глубине 10 м и 18,75 Гц при глубине 20 м). Таким образом, суммируя оба датчика (РЗ суммирование) можно скомпенсировать минимум в одном спектре пиком в другом, что приведет к сглаживанию частотного спектра. Другим достоинством суммирования является подавление идущих вниз многократных отражений от поверхности воды, имеющих противоположную полярность на записях геофона и гидрофона. Однако, РЗ суммирование не простая операция: она требует тщательного масштабирования обоих наборов данных, и при этом в записи гидрофона появятся шумы геофона.

После удаления волн-спутников, а так же статических, фазовых и частотных отклонений, можно приступать к стандартной обработке. Частично обработка выполняется в поле, для того, чтобы проконтролировать качество данных и убедиться в том, что конечные разрезы удовлетворят ожидания заказчика.

Заключение

Из-за быстро меняющихся поверхностных условий сейсмическая разведка в транзитной зоне будет всегда иметь организационные сложности. Для успешного проведения работ требуется соответствующий выбор персонала партии и оборудования, полное взаимодействие с местными партнерами для выполнения надлежащего планирования и тщательный учет всех особенностей окружающей среды. Что касается геофизической стороны дела, то для подрядчика стали, по крайней мере, доступны удобные решения для сбора и обработки данных, обеспечивающие эффективность работ, а для операторов — получение непрерывного сейсмического изображения, в котором отсутствуют все негативные явления, присущие этой сложной зоне.

(Перевод И. М. Кузнецова, ОАО СКБ СП, г. Саратов)