

Опыт создания сейсмических телеметрических систем для работ в условиях мелководья и транзитных зон (на примере ССТ-480 и ССТ-4)

Бородин В.М., Ксенофонтов Ю.А., СКБ МГП НИПИОкеангеофизика, г. Геленджик;
Сагайдачная О.М., Сагайдачный А.В., Шмыков А.Н., ФГУП "СНИИГГиМС" г. Новосибирск

Мелководные и транзитные зоны, под которыми обычно понимают участки акваторий (морей, озер, рек и других водоемов) с глубинами от 5 до 0 метров и прибрежной суши, занимают весьма значительные площади, особенно с учетом районов со сгонно-нагонными и приливными явлениями. Оставаясь "белыми пятнами" для сейсмических исследований, зоны затрудняют достоверную оценку перспектив нефтегазоносности прибрежных участков и планирование в этих районах разведочных работ на нефть и газ.

Следует особо подчеркнуть неблагоприятные приповерхностные сейсмогеологические условия зон: наличие прибрежных топей, илистых и заболоченных участков, участков распространения прибрежной и донной растительности. Проведение сейсмических исследований здесь можно уверенно отнести к работам в экстремальных условиях.

Экстремальные условия работ требуют специальных дорогостоящих транспортных средств и средств ведения сейсмической разведки, обеспечивающих получение максимума информации за один проход профиля.

Под средствами ведения сейсмической разведки здесь понимается сейсмическая система в составе: центральная станция, кабель сейсмический телеметрический (КСТ), сейсмоприемники и цифровые телеметрические модули (ЦТМ).

Основные требования к центральной станции - достаточное быстродействие для обработки связей с ЦТМ, архивация сейсмических данных, их визуализация, а также сохранение работоспособности после транспортировки по пересеченной местности. Этим условиям вполне соответствуют компьютеры в промышленном исполнении.

Основные требования к конструкции сейсмического телеметрического кабеля: наличие двух жил питания, двух витых телеметрических пар и 2÷4 пар аналоговых. Существенные электрические параметры (электрическое и волновое сопротивление, сопротивление изоляции и т.д.) обеспечиваются изготовителями без особых проблем, при этом почти не влияют на стоимость кабеля. Напротив, важнейшие прочностные и массогабаритные характеристики телеметрических кабелей в виду их противоречивости: разрывное усилие от 2 до 10 кН при диаметре не

более 18-20 мм, устойчивость внешней оболочки к истиранию и порезам при высокой гибкости и относительно небольшой массе, - выполняются за счет резкого увеличения их стоимости.

В таблице 1 приводятся сравнительные характеристики нескольких телеметрических кабелей.

Все перечисленные в таблице кабели используются на акваториях и суше, но имеют один общий недостаток: при перестановке косы волоком они могут врезаться в донные отложения, что приводит к увеличению усилия буксировки (особенно в начальный момент движения). Появляется также и дополнительный риск получить повреждения кабеля из-за захороненных в донных отложениях всевозможных препятствий.

При сейсмических исследованиях на акваториях перспективно использование шланговых кабелей, у которых внешний диаметр от 43 мм и выше и масса в воде около 50 кг/км, такие кабели мало врезаются в дно.

В аналоговых донных косах шланговые кабели применяются уже более 50 лет. Их эксплуатация в старт-стопном режиме при длинах до 2000 м особых проблем не вызывает. Использование телеметрических кос длиной в 5-7 км при глубине воды от 0 до 5 м безусловно создает проблемы. Если коса находится на профиле в неподвижном состоянии несколько часов на илистом дне, то сорвать ее с места для буксировки по профилю можно только специальными транспортными средствами, особенно на малых глубинах. Необходимо при этом помнить о весе и объеме шланговой косы в воздухе (ориентировочно масса косы в воздухе 1400 кг/км, объем 150дм³/км).

На мелководье, с глубинами от 5 до 2 м, обычно применяются сейсмоприемные устройства с датчиками давления. В транзитной зоне, с глубинами от 2 до 0 м, используются устройства только с геофонами, так как приемники давления на глубинах менее 2 м имеют относительно низкую чувствительность.

Когда расстановка приемных устройств начинается в воде, например, на глубине 5 м и заканчивается на суше, сейсмоприемники должны быть комбинированными, т.е. иметь датчики давления и геофоны. Учитывая сложность ориентации приемников смещения в

Таблица 1

Параметры	Марка кабеля			
	КГТ-75	КСТ 25	КСТ 50	КС-11
Разрывное усилие, кН	75	25	50	5
Грузонесущий элемент	броня	нить ARMOS (Ø 3.4 мм)	нить ARMOS (Ø 4.45 мм)	-
Внешняя оболочка	броня	полиуретан	полиуретан	полиуретан
Внешний диаметр	18	14	15	14,5
Мин. диаметр изгиба, мм	≥500	≥ 28	≥ 30	≥ 30
Масса кабеля, кг/км	600	240	270	250
Стоимость, руб./км	80000	165000	210000	95000



воде, их необходимо обеспечивать системой самоориентации.

Для увеличения структурной эффективности сейсморазведки, особенно при изучении сложно построенных среда также определения литологического состава геологического разреза нужен анализ волновых полей и совместное использование волн различных типов. Для приема X,Y,Z - компонент волнового поля в СКБ МГП НИПИОкеангеофизика разработан ряд самоориентирующихся сейсмодатчиков, работающих в экстремальных условиях, в том числе трехкомпонентный самоориентирующийся датчик СД-4, который содержит X,Y,Z - геофоны и гидрофон.

Сейсмические исследования по различным методикам в крайне тяжелых геолого-географических условиях требуют одновременного съема информации с огромного количества полевых точек наблюдения: от нескольких сотен до нескольких тысяч. Таким требованиям отвечают только мультиканальные телеметрические системы.

С учетом вышеизложенного в 1997 году в СКБ МГП НИПИОкеангеофизика (г. Геленджик) началось проектирование 480-канальной системы сейсмической телеметрической (ССТ-480), предназначенной для работы на мелководье и в транзитных зонах. С 1998 года работы над системой продолжены совместно с ФГУП СНИИГГиМС (г. Новосибирск).

По независимым от разработчиков причинам завершение работ было отодвинуто более чем на один год, и из-за недостаточности средств изготовлено всего 120 каналов.

В 2000 г. работы по созданию системы ССТ-480, имеющей технические характеристики уровня зарубежных систем аналогичного назначения была завершена. При этом стоимость одного условного канала оказалась в 1,5 раза ниже стоимости канала подобной системы фирмы I/O.

В декабре 2000 г. успешно проведены приемочные испытания ССТ-480 в сильно заболоченном районе приазовских лиманов.

Система ССТ-480 (рис. 1) представляет собой телеметрическую станцию распределенного типа, основным элементом которой является сейсмическая коса с цифровыми телеметрическими модулями (ЦТМ). Отличительными характеристиками этой системы являются: открытая



Рис. 1 Цифровой телеметрический модуль системы ССТ-480

структура, работа в реальном времени без ограничения длительности наблюдения, кабельная система электропитания, строго герметичное исполнение основных частей телеметрической косы (ЦТМ, кабелей, сейсмодатчиков).

Сейсмическая коса, включающая линии телеметрии и питания, выполнена из кабеля с торцевой герметичностью КС-11, разработанного и изготовленного специально для этой станции. Масса кабеля составляет 250 кг/км. Максимальная длина одной косы ограничивается сечением питающих жил, которое выбрано исходя из энергопотребления 20 модулей в косе (120 каналов). Это позволяет иметь 6 километров



Рис. 2 Фрагмент сейсмической телеметрической косы системы ССТ-480

непрерывной расстановки с подключением к центральной станции одной линии (всего линий - 4). Для организации питания в кабеле используются выделенная медная пара сечением 3 мм². Внутренний источник ЦТМ имеет диапазон рабочих напряжений от 40В до 90В. Мощность потребления одного модуля не превышает 2,4 Вт. Коса выполнена в виде отрезков по 330 м с герметичными оконечными специальными разъемами и разъемами типа КСЛ через 50 м для подключения сейсмодатчиков. В кабеле расположены: пара питания, линия связи, три аналоговых пары и две запасные пары. Рабочая глубина погружения косы от 0 до 5 м. (Глубина ограничена из-за конструкции сейсмодатчиков и разъемов КСЛ).

ЦТМ выполнены в цилиндрическом корпусе с двумя разъемами подключения. Цилиндрическое исполнение ЦТМ имеет ряд существенных преимуществ. Прежде всего, примененная конструкция исключает трудоемкую операцию стыковки - расстыковки при расстановке регистрирующей системы на местности, при этом всегда имеется возможность работы на профиле способом конвейерного перемещения секций (допускается перемещение волоком с отключенными сейсмодатчиками и при отсутствии препятствий на профиле).

ЦТМ разработаны на основе решений, реализованных в модулях сейсмодатчик-телеметрической станции СТС-24Р [1]. Печатные платы были переработаны под новый конструктив модуля и собраны в виде "этажерки". На одной плате выполнены источник питания, система управления и тестовый генератор, на четырех платах исполнены аналого-цифровые преобразователи (АЦП) 6 каналов. Платы распаяны между собой и подсоединены к торцевым разъемам. Собранный модуль размещается в герметичном кожухе из алюминиевого сплава. Герметичность разработанной конструкции телеметрического модуля позволяет использовать его на глубинах до 250 м.

Канал регистрации сейсмических данных построен с использованием 24-разрядного дельта-сигма модулятора типа СК5321ВЛ. Канал регистрации начинается с коммутатора, позволяющего подать на вход усилителя напряжение с геофона, сигнал тестового генератора с устройства управления и подключить к входу эквивалент нагрузки. После коммутации сигнал усиливается инструментальным усилителем и через анти-алиасинговый фильтр поступает на дельта-сигма модулятор, данные которого обрабатываются цифровым фильтром комплекта СК5321ВЛ. Данные АЦП в виде 24-х разрядных слов по последовательному каналу поочередно считываются и передаются в устройство управления и далее в сейсмическую линию связи.

Система управления ЦТМ спроектирована для работы телеметрии по одной линии связи, работающей в полудуплексном режиме. Для организации прямого и обратного каналов передатчики и приемники включены в мостовую дифференциальную систему, выполненную на развязывающих трансформаторах и согласованную с линией связи по волновому сопротивлению. Такая схема построения позволила организовать полно дуплексный канал связи с достаточным уровнем развязки.

Телеметрия станции ССТ-480 обеспечивает передачу цифровых данных максимальным трафиком 8,192 Мбит/с, что обеспечивает сбор информации по одной линии в реальном времени с 960 каналов для частоты дискретизации 2 мс. Достоверность передаваемых данных обеспечивается применением избыточного кодирования с логикой выявления искаженной информации.

Логически ЦТМ представляют собой набор регистров с фиксированными внутренними адресами, обращение к которым позволяет производить рабочие настройки параметров регистратора и контролировать текущее состояние его параметров. Для устранения случайного изменения настроек ЦТМ применена многошаговая система доступа с использованием электронного ключа. Передача данных в линии происходит пакетами переменной длины, разделенными паузами. Для корректной работы системы дешифрации применена сбалансированность кода по количеству единиц положительной и отрицательной полярности в пакете данных. Система дешифрации кода построена с использованием цифровой фазовой подстройки. Внутренняя тактовая частота дешифратора составляет 32768 КГц, что является достаточным для безошибочного приема данных.

Система управления ССТ-480 собрана на программируемой матрице фирмы Altera. На матрице реализован шифратор-дешифратор данных и команд, регенератор и формирователь пакетов данных, кодер/декодер канального кода, микроконтроллер управления режимами работы модуля.

Станция ССТ-480 имеет встроенные средства самотестирования качества передачи данных с возможностью выявления сбойного участка косы, что позволяет предупредить потерю информации в случае повреждения кабеля при проведении полевых работ.

Построенная система управления позволила обеспечить достаточно высокие скорости обмена по линии связи, организовать надежную работу регистратора и оперативный дистанционный контроль параметров модуля.

Сейсмический канал регистрации в опытной эксплуатации подтвердил высокие значения технических параметров, но функциональные возможности встроенной самодиагностики являются недостаточными и их необходимо расширить. Нельзя считать удовлетворительными и габаритные размеры ЦТМ.

Дальнейшее развитие телеметрических сейсмостанций для переходных зон нашло свое отражение в новой разработке станции ССТ-4, предназначенной, в том числе, и для многокомпонентных наблюдений. В разработку заложены оригинальные идеи, как в конструкции, так и в схемотехнике, более глубоко проработаны вопросы технологичности изготовления, настройки, контроля и модернизации.

Выполнен переход на более удобный для использования 4-х каналный модуль регистрации (рис. 3), к которому можно подключить многокомпонентный сейсмоприемник или несколько однокомпонентных геофонов (и) или гидрофонов. Переход на меньшее количество каналов



Рис. 3 Печатные платы 4-х каналного цифрового телеметрического модуля системы ССТ-4

регистрации сокращает расстояние между модулями, что позволяет значительно (в разы) поднять скорости, увеличить пропускную способность канала связи и, соответственно, увеличить протяженность активной расстановки. Применение новых способов кодирования информации упростило схемотехнику приемопередатчиков линии связи при экономном использовании ее частотного диапазона. Реально достижимые скорости передачи данных ССТ-4 составляют 32 Мбит/с, что требуется при протяженной расстановке с многокомпонентными сейсмоприемниками.

Использование последних достижений в области микроэлектроники позволило сократить до двух количество печатных плат и уменьшить их размеры. Модуль ЦТМ ССТ-4 стал в несколько раз меньше и состоит только из двух плат: платы управления и АЦП размером 98*38мм каждая. Межплатное расстояние составляет 6 мм. Сборка двух плат может быть упакована в цилиндрический корпус диаметром 40 мм и длиной 100 мм.

Двухступенчатая система электропитания была разработана специально для ССТ-4 и позволяет использовать как низковольтное питание 8 - 40 В, так и высоковольтное питание 40 - 120 В. Кабельная система может иметь протяженность до 8 - 10 км. Высоковольтное питание имеет дополнительно гальваническую развязку до 1500 В. Общее потребление модуля снижено до 1 Вт.

Система управления построена на высокочастотной матрице нового поколения фирмы Altera. На ресурсах матрицы выполнены четырехканальный 24-разрядный цифровой фильтр, микроконтроллер управления режимами ЦТМ, кодеры и декодеры приемопередатчиков. Система команд, распределение ресурсов, добавление новых функций или их модернизация могут легко изменяться при необходимости посредством перепрограммирования флэш-памяти. Система управления имеет встроенный мониторинг окружающей среды (температуры и влажности) и параметров электропитания, включая ток потребления. Появилась возможность контролировать состояние расстановки в реальном времени вне зависимости от режима работы, в том числе конфигурацию станции.

Литература

1. Васильев В.П., Шмыков А.Н., Сагайдачный А.В. и др., 2002, Способ сбора сейсмических данных и устройство для его осуществления. Патент РФ №2189615, Б.И. 26.

ТЕЛЕМЕТРИЯ В ГЕОФИЗИКЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ