

Бескабельные технологии сейсморазведки – универсальный инструмент при поиске месторождений углеводородов.

На примере оборудования GSX компании GEOSPACE TECHNOLOGIES INC. (США)

■ Ясницкий Ю.С., Бакман П.М.

Основное внимание в статье уделено технике, методике наблюдений и области применения бескабельной аппаратуры в сейсморазведке. Рассмотрены практические примеры современного подхода к съёмке с высокой плотностью наблюдений.

Современные тенденции. Новые технологии

В течение последних двух десятилетий электроника развивалась революционными темпами. Вычислительные мощности электронных систем и технологичность вспомогательных компонентов росли экспоненциально год от года и, в то же время, стоимость их падала. В начале двадцать первого века появилась возможность построения чрезвычайно сложных, производительных и компактных электронных промышленных систем.

В отрасли геологоразведки и сейсморазведки, в частности, технологический ресурс дал возможность не только оптимизации производства, но и повлиял на развитие принципиально новых методик работ.

Для нефтяных компаний обязательным условием стало получение точной картины недр с высокой степенью детальности, что повернуло вектор развития сейсморазведки в сторону 3D наблюдений. Наличие данных 3D сейсморазведки стало обязательным условием при поиске углеводородного сырья и является отправной точкой перед началом разработки нового месторождения. Тем не менее, в 60 % - 70% случаев геофизические модели месторождений не подтверждаются результатами бурения. Нефтяные компании стали акцентировать внимание на качестве, временных рамках и общей стоимости проведе-

ния 3D сейсморазведки. Это породило сильнейшую конкуренцию в мире сервисных компаний. Тот, кто не сможет дать лучший результат в каждой из перечисленных категорий – проигрывает.

В условиях отсутствия неразведанных крупных месторождений углеводородов, всё чаще стали разведываться и разрабатываться не крупные месторождения со сложно извлекаемыми запасами. Зачастую это структуры с трещиноватыми, относительно маломощными (5 – 20 метров), литологически неоднородными коллекторами. В таких условиях технологии сейсморазведки, использующие традиционные регулярные системы наблюдений, не приносят ожидаемого результата. Здесь требуется более плотная система наблюдений с расстоянием между пунктами приема (ПП) в 5 – 10 – 15 м и позволяющие формировать нерегулярные системы наблюдений, где варьируется расстояние между ПП. Эти требования практически нереализуемы в широко используемых в промышленности кабельных сейсмических системах. Такие методики могут быть реализованы только с помощью бескабельных сейсмических систем. В комбинации с важнейшим современным направлением развития сейсморазведки – увеличением кратности наблюдений – это приведет к увеличению общей детальности исследований, и, как следствие, к более точным геофизическим моделям месторождений углеводородов.

В результате непрерывного наращивания количества каналов при сейсморазведочных работах с помощью кабельных систем был достигнут предел эффективности их использования, вызванный необходимостью постоянного поддержания линий в рабочем состоянии. Выход из строя единичного звена приводит к потере работоспособности целого участка, либо целиком всей приёмной линии и к необходимости приостанавливать работы до устранения неполадки на вышедшем из строя участке линии. Дальнейшее наращивание количества используемых каналов стало нецелесообразным или даже приводящим к рецессии в эффективности использования кабельных систем. Природа классических кабельных систем такова, что часто возникают непреодолимые сложности при развёртывании системы на сложных участках местности, становится невозможным создание геометрически сложных приёмных профилей. Следствием этого становится сложность тотального контроля качества установки регистраторов на местности. Между тем, построение детальных геофизических моделей месторождений требует проведения высокоплотных широкоазимутальных съёмок и избавление от аляйсинга как полезного сигнала, так и волн-помех. Это в свою очередь снова требует дальнейшего наращивания числа каналов.

Выходом оказалось создание автономных бескабельных систем, не требующих постоянного ремонта линий и замены постоянно разряжающихся батарей, причём на разных участках площади. Даже выход из строя единичной регистрирующей станции не влечёт за собой вывод из работы целого участка и позволяет заменить неисправный блок не прерывая производственные работы. Разряд же питающих элементов прогно-

зируется с помощью программного обеспечения и оператор заранее планирует своевременную замену батарей и наиболее оптимальный маршрут сервисной бригады. Срок работы на профиле питающих элементов современных бескабельных систем (GSX) с при температурах до -40°C составляет более 40 суток в режимах непрерывной записи.

Если заглянуть в ближайшее будущее, то дальнейшее развитие сейсморазведки будет направлено на развитие методик со сложной геометрией приёмных линий или даже со свободной геометрией приёмных точек. На основе зарегистрированных собственных местоположений приёмников, обрабатывающий комплекс будет проводить геометрические преобразования и построение 3Dсейсмического куба иным, чем доминирующим сейчас способом использования классических разрезов 2D линий. Также в ближайшем будущем можно с уверенностью прогнозировать переход на использование 32-битных АЦП в полевых регистраторах, что позволит существенно повысить мгновенный динамический диапазон и при этом снизить шумы сейсмического тракта и нелинейность сигнала.

Создание бескабельных систем, способных удовлетворить самым строгим запросам нефтяных компаний, накладывает определённые технологические требования на компонентный и промышленный дизайн полевых регистраторов. Каждая регистрирующая единица должна удовлетворять следующим важнейшим требованиям:

- Надёжность компонентной базы и внешнего корпуса; устойчивость к внешним агрессивным воздействиям; работа в любом естественном спектре температур и влажности.

- Компактность и лёгкий вес оборудо-

вания. Причём учет этого параметра чрезвычайно важен с самого начала планирования партии. Он влияет на численный состав партии, её мобильность, скорость расстановки и сбора оборудования, что, в итоге, напрямую влияет на итоговую себестоимость работ.

- Использование компонентной базы, допущенной для гражданского использования, а именно: GPS приёмника, радио модулей, работающих в лицензируемом диапазоне частот.

- Точная самостоятельная привязка к местности на основе принимаемых сигналов системы геопозиционирования; возможность осуществления и в дальнейшем корректировки привязки в самых сложных метеорологических условиях и вне зависимости от урбанистических и техногенных осложняющих факторов.

- Оцифровка сейсмического сигнала в широком частотном и амплитудном спектре и совместимость с различными типами стандартных сенсоров, применяемых в индустрии; использование общепринятых частот дискретизации при оцифровке аналогового сигнала: 250µs; 500 µs; 1ms; 2ms; 4ms; линейный или минимальный антиалайсинговые фильтры; аппаратная реализация ВЧ фильтра.

- Максимально длительная автономная работа, обеспечивающая достаточное время бесперебойной работы до следующей перестановки блока. При современных реалиях часто требуется обеспечить бесперебойную работу блока в течении месяца и более.

- Модульная конструкция регистрирующей станции, позволяющая оперативно заменить аккумуляторную батарею или сенсор, не заменяя при этом сам блок полевого регистратора, или, напротив, заменить только регистратор, при

этом оставив на поле батарею и сенсор.

- Надёжное хранение записанных данных в энергонезависимой памяти блока, позволяющей извлечь данные даже при выходе из строя самого регистратора или его физического повреждения.

- Возможность переноса блока на любую другую точку регистрации и немедленный запуск в работу на новой точке. При этом данные в памяти будут разделены на сегменты, принадлежащие различным точкам регистрации. Это условие позволяет перемещать регистратор на новый участок, не возвращая блок на базу для считывания данных.

- Ведение регистрации по расписанию с временными промежутками на простой и сон с переводом электроники в ждущий режим с крайне малым электропотреблением. Таким образом, если по правилам техники безопасности производственные работы запрещены в тёмное время суток, блок перейдёт в режим ожидания и будет экономить запас собственной автономности.

- Возможность комбинированной работы с классической кабельной системой. У большинства сервисных компаний, давно работающих на рынке, уже сформирован технический парк, представленный кабельными системами. Списывать имеющееся исправное оборудование – непозволительная роскошь, поэтому бескабельная системы должна иметь возможность работы в тандеме с любой кабельной системой и в этом случае может быть использована на сложных участках местности, участках сельскохозяйственных угодий или в населённых пунктах, где использование кабельной системы попросту невозможно.

- Возможность использования высокопроизводительных систем отстрела, в

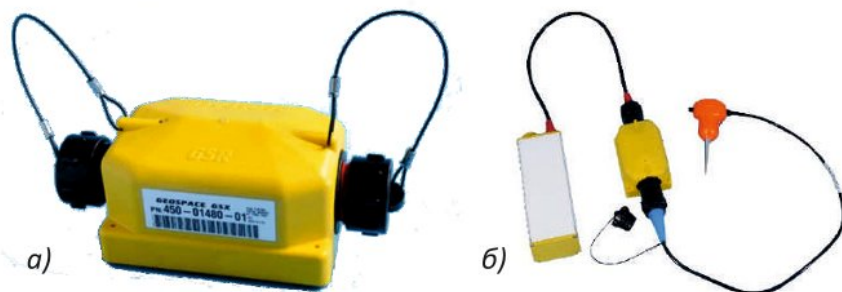


Рис. 1.
а) Блок полевого регистратора
б) Блок полевого регистратора с подключенными батареями и одиночным геофоном.

том числе с использованием одновременно работающих нескольких групп вибраторов. Такая методика возможна только при использовании автономных бескабельных систем и позволяет кратно повышать производительность работ, соответственно снижая их себестоимость.

В работе с бескабельной системой важнейший вопрос - обеспечение надёжности всей полевой расстановки и контроль качества рабочих параметров. Необходимо убедиться, что сенсоры корректно установлены, заряда батарей хватит с запасом на отработку планируемого участка, сама электроника работает без сбоев, а регистраторы установлены точно в соответствии с плановыми координатами. Реализация этих задач возложена на мобильные бригады, оснащённые полевыми терминалами для сбора статистических данных и собственных статусов регистраторов.

Данные о работе регистраторов передаются по радиоканалу в радиусе до

трёхсот метров от всех расположенных в зоне приёма модулей и записываются в базу данных полевого терминала LV. Оператор терминала LV отслеживает таблицу данных по каждому из опрошенных блоков и, в случае нештатной работы какого-либо из модулей приёмной станции (регистратора, сенсора или батареи), принимает самостоятельное решение о его замене. Несколько мобильных групп с полевыми терминалами, передвигаясь вблизи приёмных профилей, собирают статистику о работе всей расстановки. Все переданные регистраторами данные записываются в общие базы данных на каждом из полевых терминалов LV и в конце процесса контроля площади отдаются оператору на станцию. В дальнейшем оператор может отслеживать все перемещения регистраторов и батарей независимо друг от друга по всей площади работ, строить прогнозные диаграммы автономности на основе оставшейся в регистраторах свободной памяти и уровня заряда батарей.



Рис.2 Полевой Терминал "LineViewer" LV

Применение одиночных приёмников – новая философия

Группирование сейсмоприёмников в поле всегда применялось для снижения влияния поверхностных волн. Поскольку сигналы поверхностных волн имеют выраженную пространственную поляризацию, с ростом производительности аппаратного обеспечения и эффективности вычислительных центров стало

▼ Табл. 1. Спецификации системы GSX

Коэфф.	SI:2ms ¹	Макс.входной сигнал
усиления	дБ	Vrms ³
1	0	1,80
2	6	0,90
4	12	0,45
8	18	0,22
16	24	0,11
23	30	0,06
64	36	0,30
Суммарно	SDR ⁵	140
Коэфф.	SI:2ms ⁶	Эквивалентный входной шум
усиления	дБ	Микровольт rms ⁷
1	0	1,13
2	6	0,58
4	12	0,33
8	18	0,22
16	24	0,19
23	30	0,18
64	36	0,17
Фильтр против эффекта наложения		
>nyq 130дБ		
0,87FNлинейныйилиминимальный		
CMR ⁸	0,001%	100дБ
Погрешность усиления		
1%		
Стандартное время		
<1мсек		
Максимальнаяфазоваяпогрешность20мсек		
Влажность		
от0 до100 %		
Температура		
от–40до+85°C		
Вес		
2фунта 0,9кг		

Интервал дискретизации,		SDR ² /0дБ
4		126
2		124
1		120
0,5		117
0,25		106
Коэффициент	SI:2ms ⁴	SDR/0дБ
усиления	дБ	
1	0	124
2	6	123
4	12	122
8	18	120
16	24	115
23	30	110
64	36	105
Суммарные гармонические искажения		дБ
		0,00050%
Формат выходных данных		SEGDrev2;SEGy
Полное сопротивление входа		Режим
	20K0,06мф	Разности
	205K	Общий
Выгрузка данных из памяти		8-16-32Гб
До20мин		
Одновременнаяразгрузкадо400блоков		
Тестирование установленных геофонов		
Аккумулятор		10ампер-час
Блок		8,5фунтов
Габариты		дюймы
В3,32	Ш5,86	Д6,18
Продолжительность зарядки		11часов

¹Интервалдискретизации:2мсек²SDR–Signal-to-Distortion Ratio–Отношение"сигнал/искажение"³Rms–среднеквадратичное значение⁴Интервалдискретизации:2мсек⁵SDR–Signal-to-Distortion Ratio–Отношение"сигнал/искажение"⁶Интервалдискретизации:2мсек⁷Rms–среднеквадратичное значение⁸CMR–Common Mode Rejection–Подавление синфазного сигнала

выгоднее заниматься их подавлением уже на стадии обработки данных, применяя при этом одиночные приборы. Вдобавок к этому, эффективность подавления поверхностных волн помех с частотами 10 Гц и ниже стоит рассматривать только для площадей с очень низкими скоростями ЗМС. Промышленным стандартом при проведении 3D сейсмических съёмок становится обязательное наличие отдельных площадных исследований верхней части разреза.

С увеличением плотности наблюдений, группирование стало превращаться в пережиток прошлого. Так, при сокращении базы с привычных 50-ти метров до нового 10 – 20-ти метрового стандарта, группы геофонов стало просто негде устанавливать. Следует обратить внимание на неподстраиваемость группы под внешние условия. Скажем, если на предприятии уже имеются несколько тысяч групп с 50-ти метровой базой, то участвуя в тендере на отработку нового участка с базой в 25 метров, придётся изыскивать дополнительные инвестиции, необходимые для приобретения нового комплекта групп геофонов, удовлетворяющих требованиям нового контракта. Если же контракт предполагает нерегулярную систему наблюдений с варьирующимся расстоянием между пунктами приёма, то такое условие влечёт дополнительные сложности в реализации контракта.

Все те преимущества, которые обеспечивают группированные сенсоры, достижимы подчас только в идеальном мире. Так, например, увеличение полезного сигнала в соотношении с сигналом помехи мы будем иметь только в том случае, если собственноручно не добавим шумов неидеальной расстановкой группированного прибора. На практике же, провода, свободно висащие между

установленными приборами в группе, будут играть как гитарная струна, даже при слабом ветре (Рис. 3). Чтобы избежать этого, придётся прикапывать все провода между приборами в группе. И таких групп тысячи или даже десятки тысяч. А учитывая погодные особенности на территориях целевых участков в Восточной и Западной Сибири, иногда при перемотке невозможно собрать группу из-под замороженной за несколько дней ледяной корки, не повредив её. При этом все приборы в группе должны быть идеально установлены (и ориентированы по азимуту, в случае с трёхканальными блоками) и центр группы должен находиться строго на пункте приёма. Более того, группа геофонов способна серьёзно исказить амплитудно-частотную характеристику полезного сигнала из-за неоднородности ЗМС, естественных неровностей грунта и не полной идентичности установки по вертикали отдельных приборов в группе. Из-за неоднородных поверхностных условий будут наблюдаться статические сдвиги внутри групп. Так для стандартной группы в 25 метров, статические сдвиги могут составлять 15 – 20 мс. При сложении же несинфазных сигналов с приборов группы, может произойти подавление высокочастотной части полезного сигнала с потерей корреляций отраженных и первых вступлений преломленных волн. Далее, при использовании линейных групп геофонов на площадях с 3D съёмкой высокой плотности наблюдений выявится присутствие эффекта азимутальной анизотропии. Эффективно противостоять этому эффекту можно только применяя изометричные группы с геометрически правильным расположением геофонов в системе группы. Сложность и стоимость работы с такими типами групп очевидна.

► Рис. 3.
Типичные проблемы
установки групп
геофонов в поле



Если вернуться в реальный мир, то идеальные расстановки, особенно в мега партиях – огромная редкость. Используя в сравнимых условиях одиночные приборы, можно добиться даже более качественного сигнала в соотношении сигнал – помеха. Разумеется, тут следует отметить, что обычным геофоном невозможно достичь такого результата. Необходимо применение приборов с повышенной чувствительностью, сопоставимой с чувствительностью целой группы геофонов, и способностью полностью сохранять рабочие характеристики и вести запись даже при значительных углах наклона прибора. Производство столь прецизионных сенсоров требует огромных научно-производственных затрат.

Компания Geospace Technologies Inc. действительно инвестировала значительные средства в разработку и производство прибора GS-ONE, который в значительной степени соответствует описанным выше требованиям. При этом цена такого одиночного прибора сопоставима и даже ниже цены группы традиционных приборов. Себестоимость его использования также на 25 – 30 % ниже. С увеличением количества используемых каналов и плотности системы наблюдений, разница в себестоимости использования одиночных приборов и групп приборов становится особенно весомым фактором, влияющим на себестоимость работ.



Собственная частота (F_n): 10 Гц $\pm 3,5\%$
 Искажения: $< 0,1\%$
 Максимальный угол наклона для спецификаций по искажениям: 10°
 Чувствительность: 85,8 В/м/сек $\pm 3,5\%$
 Затухание: 0,70 ТИП с 20 кОм
 Затухание открытой цепи: 0,48 – 0,54
 Омическое сопротивление: 1 800 Ом $\pm 3,5\%$
 Ложная частота: > 240 Гц
 Движущая масса: 14 грамм
 Минимальное перемещение катушки межпиковое: 2,54 мм
 Диаметр: 30,2 мм
 Высота: 39,9 мм
 Вес: 130 грамм
 Диапазон рабочих температур: $-40^\circ\text{C} \sim +100^\circ\text{C}$



▲ Рис. 4. Одноэлементный геофон GS-ONE

Одноэлементный геофон сконструирован так, чтобы быть сравнимым по чувствительности с группой геофонов 3х2 или 6х1, обеспечивая при этом выигрыш в стоимости и весе. Геофон отличается низким уровнем искажений, высоким отношением "сигнал/шум" и сигналом надежного качества.

Наиболее дальновидные заказчики планируют проведение наблюдений с высокой плотностью ещё на стадии разработки геологического задания. К настоящему времени компания Geospace Technologies Inc. поставила своим заказчиком по всему миру около 400 000 одноканальных регистраторов GSX и около 30 000 трехканальных регистраторов GSX, причем весьма существенная часть этих поставок осуществлялась в комбинации с современными приборами GS-ONE в 1-компонентом и 3-х компонентном вариантах.

Сейсморазведка на шельфе – мелководье – суше - бесшовная технология

В силу концептуального различия условий проведения сейсморазведочных работ на шельфе, мелководье и на суше, до недавнего времени при проведении работ на каждом из таких участков использовались различные типы сейсморазведочного оборудования, как в части приема сейсмического сигнала, так и в части его возбуждения. Именно в силу различия типов используемого при полевых работах оборудования возникают серьезные проблемы при необходимости стыковки данных, полученных на этих участках. В силу тех же причин стоимость проведения работ на шельфе, мелководье и суше отличаются значительно. Самыми «дорогими» являются проекты на участках мелководья. Основными составляющими частями этой «дороговизны» являются стоимость

специализированного сейсмического оборудования и низкая производительность партии при высокой стоимости плавсредств, используемых при выполнении проектов. При этом производительность напрямую зависит от ограничений, накладываемых на это специализированное сейсмическое оборудование. Такими ограничениями являются – состояние погоды, водной среды, дна, наличие гидротехнических и иных сооружений в приливно-отливных-прибойных зонах. Ведь по сути, специализированное сейсмическое оборудование для мелководья – это адаптированное для иных условий кабельное сейсмическое оборудование для суши со всеми присущими кабельным системам проблемами (питание, смотка-размотка, объемные хранилища для кос и т.д.). Все это обуславливает низкую производительность при работах на мелководье. В мировой практике разведки месторождений углеводородов исторически сложилось так, что зоны мелководья стали объектом внимания нефтяных компаний в последнюю (по времени) очередь. Зачастую это было обусловлено высокой стоимостью сейсмических работ и технической сложностью их качественного проведения. Тем не менее, в последнее десятилетие объем сейсморазведочных работ на мелководье быстро растет. Ответом на этот запрос нефтяных компаний стала разработка производителями сейсмического оборудования автономных бескабельных систем, одной из которых является оборудование GSX компании Geospace Technologies Inc.

Наиболее распространенным оборудованием для проведения сейсморазведочных работ в мелководной зоне являлись (и являются до сих пор) донные косы, со встроенными или присоединя-

мыми датчиками – блоками - регистраторами. Такому оборудованию необходимо обеспечить питание, а так же надёжную передачу потока данных к телеметрической станции. Ранние образцы донных кос представляли собой многожильные армированные кабели с экранированными высоковольтными питающими и телеметрическими жилами и подключёнными к ним громоздкими блоками регистраторов. Для подачи питания к блокам регистраторов требуются мощные источники питания, располагающиеся на судне. Это, как и другие технические решения, формировали жесткие требования к самому судну. Существенную сложность представляют требования к точному позиционированию приёмных линий при раскладке и точности маневрирования судна как на предельно малых, так и на больших глубинах. Сложность обеспечения питанием всех блоков на донных косах являлась сдерживающим фактором в росте канальности таких кабельных систем, что и привело к невозможности организации систем наблюдения с высокой степенью кратности. Основное время расходуется именно на маневрирование судна, подмотку отработанных участков и раскладку новых линий.

Всех вышеперечисленных проблем лишены только автономные блочные системы регистрации. Каждый автономный блок подразумевает наличие встроенного индивидуального питающего элемента. До недавнего времени главным фактором, осложнявшим развитие донных автономных сейсмических систем, оставалась энергоёмкая элементная база. Другим таким фактором являлось отсутствие технологии производства источников питания, обеспечивающих длительную работу автономных блоков на дне. Сегодня эти проблемы в

значительной степени решены, что позволило приступить к производству таких автономных систем. В этих системах важнейшим элементом являются встроенные цифровые часы, которые должны обеспечивать хронометрическую точность хода с допустимой ошибкой не более десятков микросекунд и при этом быть синхронизированными со всеми остальными блоками группы и остальными компонентами системы в целом. При этом электронные компоненты блоков не должны менять свои характеристики при температурных флуктуациях, связанных с погружением блока в водную среду на разных глубинах. Внутренний кварц осциллятора должен обеспечивать идентичную частоту во всём диапазоне рабочих температур. Для обеспечения синхронизации блоков получила развитие идея применения опорного сигнала ежесекундного временного штампа глобальной системы позиционирования. Обеспечить кварцевому генератору точный ход призвана система поддержания постоянной температуры часового блока. Другими словами, снабжение кварцевого механизма донного регистратора постоянно работающим терморегулятором энергозатратно. Поэтому питающий элемент должен обладать достаточной ёмкостью для поддержания автономного функционирования блока в течение достаточно длительного срока.

Компания Geospace Technologies Inc. инвестировала в создание системы с автономными донными регистраторами значительные средства, применяя в разработке лучшие научно-технические инновационные достижения. На протяжении нескольких лет проектировались и дорабатывались донные регистраторы OBR - OBX (Ocean Bottom Recorder), способные удовлетворить всем требова-

ниям стандарта сбора сейсмических данных с учётом всех специфических требований работ на мелководье. Geospace Technologies Inc. поставляет на рынок систему OBX в двух глубинных модификациях, различающихся чувствительностью сенсора гидрофона.

Модификация в поликарбонатном корпусе предназначена для работы на глубинах до 450 м,

Титановые же блоки способны выдерживать огромное давление и работают на всём спектре целевых глубин шельфовой сейсморазведки (0 м – 3000 м). Обе модификации позволяют продлить приёмные профили с выходом на берег и стыковаться с наземной бескабельной системой GSX.



▲ Рис. 5. Донные регистраторы OBX в поликарбонатном и титановом исполнении.

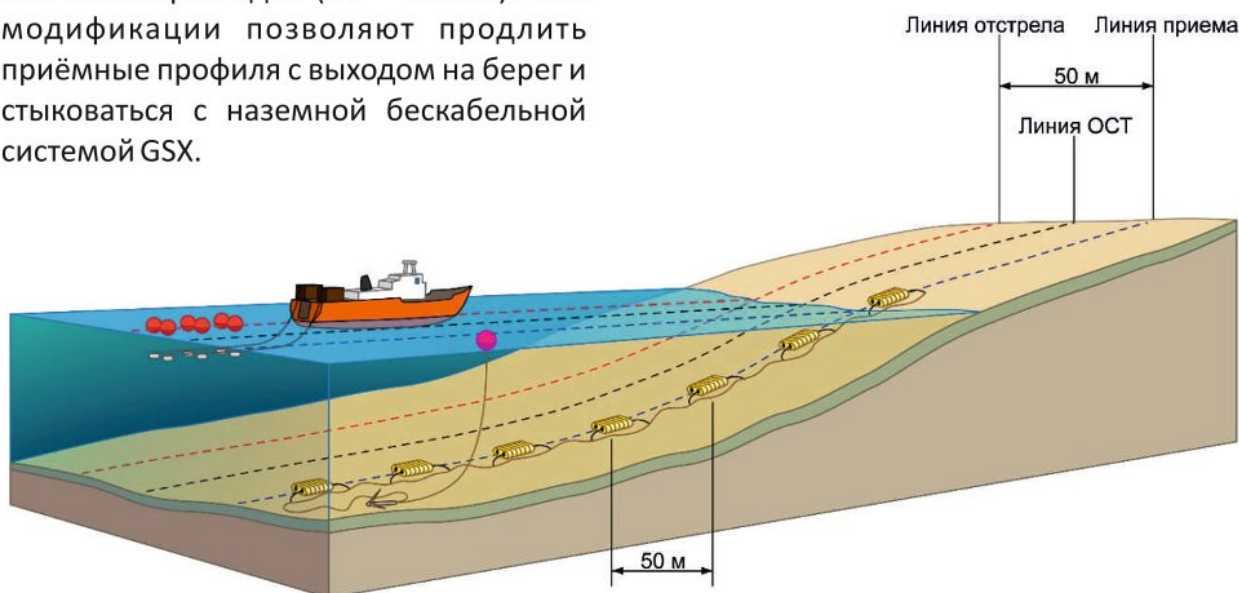


Рис. 6. Вывод приёмных линий непосредственно на берег (Рисунок Предоставлен ОАО МАГЭ)

Последнее поколение системы OBX обеспечивает автономную регистрацию сейсмических данных непрерывно на протяжении 35 дней при 2 мс периоде квантования сигналов всех 4-х компонент.

В ближайшем будущем планируется модернизация системы OBX с применением нового поколения встраиваемых атомных часов, обеспечивающих абсолютную точность хода, ещё более ёмкой батареи и модулей энергонезависимой памяти. Такая система сможет предложить рекордные сроки автономной работы с непрерывной записью 4-х

компонентного сигнала в течении 55 дней.

Мониторинг месторождений углеводородов. 4D Сейсморазведка.

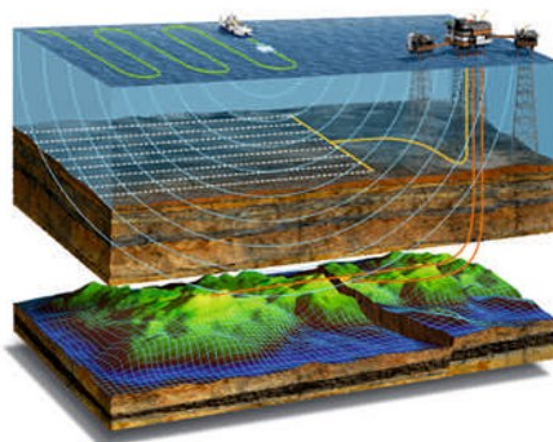
Последние 10 лет многие высокотехнологично ориентированные нефтяные компании все чаще используют возможности 4D съёмки как инструмент мониторинга и прогнозирования разработки месторождений углеводородов. При постановке задачи прогнозирования методики разработки месторождений особая роль отводится многоволновой регистрации, что позволяет использовать

данные не только по продольным волнам с высокоскоростными характеристиками распространения практически во всех породах, но и по поперечным и обменным волнам. Регистрация и последующая интерпретация всех данных позволяет построить модель с учётом всех структурных особенностей границ и свойств геологического разреза, локализовать зоны трещиноватости, АВПД и дать объективную оценку распространения флюидов в пласте. Добавляя четвертую составляющую компоненту временной корреляции, нефтяные геологи получили инструмент достоверного прогнозирования изменения характеристик резервуара и его дальнейшей разработки и эксплуатации.

Компания Geospace Technologies Inc. , являясь одной из ведущих инжиниринговых компаний в геофизической отрасли, предлагает своим клиентам – нефтяным компаниям – услуги по проектированию и осуществлению проектов 4D съемки. Каждый из таких проектов абсолютно индивидуален и учитывает уникальные условия 4D мониторинга отдельно взятых месторождений. Существуют такие проекты на суше, на шельфе, в переходной зоне, что предполагает кардинально отличные подходы к их реализации. Хорошим примером разрозненности реализаций могут выступить следующие проекты:

Саудовская Аравия, лицензионный участок одной из местных нефтяных компаний. Находящееся на начальном этапе разработки месторождение со сложным генезисом коллекторов. Для минимизации расходов на бурение дополнительных множественных стволов скважин, было принято решение включить непрерывный мониторинг разрабатываемых участков с помощью 4D наблюдений. Запланированный срок

наблюдений ежедневных флуктуаций – более 4-х лет. Суровые условия аравийской пустыни с огромными перепадами суточных температур и постоянно движущимися барханами потребовали разработки и производства уникального комплекса сейсмического оборудования. Geospace Technologies Inc. была разработана уникальная система площадной регистрации с углубляемыми на 40 метров сейсмоприёмниками. Фактически все компоненты системы выкладываются под поверхность на глубине от полутора до сорока метров и при этом все компоненты считаются необслуживаемыми. Разумеется, такой подход предполагает перманентную установку системы с заведомо высочайшей характеристикой отказоустойчивости, рассчитанной, как минимум на двойной срок бесперебойной эксплуатации.



Возможность построения столь отказоустойчивых систем уже была продемонстрирована ранее компанией Geospace Technologies Inc. на шельфовых участках месторождений, принадлежащих компаниям BP, Statoil, Shell, Petrobras. Первые из них относятся к 2003 году и работают до сих пор, позволяя увеличивать извлекаемые объемы нефти и позволяя минимизировать риск аварий при бурении и разработке месторождений. В условиях одного из месторождений, была поставлена задача мониторинга в непосредственной близости в распространении от ствола основной добывающей скважины. Специалисты Geospace Technologies Inc. разработали с нуля систему с радиальной лучевой топологией распространения приёмных линий с интегрированными 4-х канальными донными регистраторами.

На другом месторождении требовалось спроектировать систему ортогонального типа по образцу классических наземных систем с центральной транслирующей линией и перпендикулярными приёмными донными косами. В кратчайшие сроки система была спроектирована и установлена силами инженерного подразделения Geospace Engineering Resources International,. Система функционирует и контролируется из головного офиса компании по сей день уже на протяжении 4-х лет.

В третьем случае оказалось целесообразным применение глубоководных (до 3000м) автономных регистраторов, циклически устанавливаемых и собираемых уникальным глубоководным роботизированным управляемым аппаратом. Эта методика дала возможность проведения высокоплотной 3Dсъемки на океанском дне в зоне непосредственной близости к платформе, перекрытой якорными и стабилизационными канатами и закрытой для движения сейсморазведочных судов.

Заключение

Ближайшее будущее сейсмической разведки - в мегапроектах 3 – Д с использованием десятков тысяч каналов, с высокой кратностью наблюдений (200 и более), усложненной геометрией наблюдений и отстрела. Экономически целесообразными такие проекты могут стать только при достижении высокой производительности и снижении себестоимости единицы сейсмической информации.

В данной статье сделана попытка показать, что эти цели возможно достичь только используя бескабельные системы сбора сейсмической информации.

Гибкость использования, компактность, легкий вес, высокая надежность и использование самой современной элементной базы делают бескабельные системы безальтернативным будущим инструментом геофизических контрактов. Все эти качества присущи как сухопутным, так и морским бескабельным системам. Все более широкое распространение получает использование бескабельных систем (наряду с кабельными) при осуществлении как морских, так и сухопутных проектов мониторинга резервуара, контроля распространения навешенной трещиноватости при гидроразрывах пласта. Скорейшее признание заказчиками – нефтегазовыми компаниями – преимуществ использования бескабельных систем приведет к новому качественному и количественному рывку в развитии индустрии сейсморазведки и достижение этой цели является общей задачей подрядчиков и производителей оборудования.

Литература

Казанин Г.С., Нечхаев С.А., Щедров В.А., Зимовский А.В. – МНОГОКОМПОНЕНТНЫЕ МОРСКИЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА АРКТИЧЕСКОМ ШЕЛЬФЕ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ GEOSPACE. Разведка и охрана недр 2014 № 4 с.40 – 44