

Буксируемая сейсмическая коса – это актуально! (обзор)

■ Кузнецов И.М., СРО МОО ЕАГО, г. Саратов

Наземная сейсморазведка, даже в виде 2D профилей, очень затратная (обычно в 5-10 раз дороже, чем морская сейсморазведка). В связи с этим, представляет интерес любая возможность снижения затрат на проведение сейсморазведочных работ. Это особенно важно для районов со сложными условиями проведения работ, таких как: север Европейской части России, Западная и Восточная Сибирь, Арктические шельфы России, Антарктика. Но это, несомненно, представляет интерес и для любых сейсмических исследований. С этой точки зрения понятен постоянный интерес к технологии проведения наземных сейсморазведочных работ, предусматривающей отказ от установки кабеля с вручную подключаемыми к нему геофонами и использование сейсмической приемной расстановки, буксируемой по поверхности исследуемого района при перемещении ее с пикета на пикет. Это привлекательно и с практической, и с экономической точек зрения.

В принципе, буксируемая коса состоит из основного кабеля с центральным элементом усиления, окруженным большим числом изолированных проводников. Кабель может выдержать усилие в несколько тонн. К основному кабелю подключены геофоны, как правило, с одноосевой карданной подвеской (half-gimballed geophones).

Так как основной проблемой, которую решают создатели сейсморе-

гистрирующих систем с буксируемой косой, является обеспечение хорошей связи геофона с землей, то, как правило, именно способом подключения геофонов к основному кабелю и отличаются уже используемые на практике буксируемые косы. При этом буксируемые косы, предназначенные для малоглубинных съемок, могут быть относительно короткими с очень плотно размещенными геофонами – требование для малоглубинных съемок, которое, в случае использования обычных технологий, существенно увеличивает их стоимость.

Попытки создания данной технологии проведения сейсморазведочных работ были предприняты еще в 70-х годах прошлого века. Так в [1] описана система буксируемого наземного кабеля, которая затем была использована компанией Geophysical Service Inc. при проведении сейсмических работ на морском льду в арктическом районе Северной Америки. К сожалению результаты работ опубликованы не были.

Примерно в тоже время буксируемая коса была создана и испытана в нашей стране в условиях Западной Сибири [2]. Дальнейшим развитием этих работ явилось использование буксируемой косы при проведении работ по технологии многоуровневой сейсморазведки [3].

Согласно van der Veen и Green [4] и van der Veen и др. [5], одна из ранних и наиболее полно описанных наземных буксируемых кос была создана Инсти-

тутом геофизики EТН в Швейцарии. Эта наземная буксируемая коса была сконструирована с использованием самоориентирующихся геофонов на карданном подвесе, утяжеленных 1-килограммовыми корпусами. Эти корпуса установлены на нижней стороне резинового листа на расстоянии 1м друг от друга. Такое расположение развязывает геофоны друг от друга, но позволяет им прорыть небольшую борозду, чтобы улучшить контакт с размягченным грунтом.

Хотя различия между устанавливаемыми и буксируемыми геофонами и существуют, однако истинный характер данных сохраняется хорошо. Короткие записи на различных поверхностях показали лишь незначительные расхождения. Различия между разрезами, полученными с помощью наземной буксируемой косы и обычной сейсмической косы, так же весьма незначительны.

С использованием наземных буксируемых кос стало возможным сократить количество обслуживающего персонала на 30-40% и увеличить исследуемую площадь практически на 100%. Дальнейшие затраты могут быть сокращены за счет использования импульсных или вибрационных наземных источников возбуждения, не требующих бурения.

Оригинальный наземный стример был разработан Др. Carsten Ploug из COWI в Lyngby, Дания [6]. Двухсотметровый стример оборудован 95-ю самоориентирующимися геофонами с расстоянием между ними от 1.25м до 2.5 м. Различный интервал между геофонами, с более коротким интервалом вблизи вибратора, позволил

повысить качество данных в малоглубинной части разреза, а благодаря максимальному выносу в 200 м, обеспечить возможность получения данных с глубины более 1 км.

Наземный стример первоначально создавался для использования на мощеных дорогах. Геофоны с независимой подвеской буксировались с помощью коротких кабелей, подключенных к основному стримеру, что позволяло каждому геофону перед регистрацией занимать более стабильное положение. В дополнение к преимуществу, связанному с рентабельностью системы наземного стримера, сбор данных на дорогах общественного пользования не требует специального разрешения для пересечения частных участков или участков с ограниченным доступом.

Доктор Ploug использует источник возбуждения сейсмических колебаний IVI ViniVibe II как для буксировки стримера, так и в качестве источника возбуждений. Для регистрации данных и корреляции в реальном времени используются аппаратура Geometrics Geode. Высокоскоростное оборудование корреляторов включено в каждый блок и любое число каналов может быть прокоррелировано за время менее 1 сек. Меньшие по объему наборы коррелированных данных быстро пересылаются в основной компьютер (в данном случае портативный компьютер), что существенно повышает производительность при выполнении работ. Чтение из стека позволяет отбраковывать зашумленные записи и осуществлять повторную регистрацию без существенной потери

производительности работ.

Отличительной особенностью стримера KGS (Kansas Geological Survey) [6] является использование оригинального способа обеспечения связи геофонов с поверхностью земли. Геофоны установлены внутри отрезка прочного пожарного шланга. Вместо штыря, каждый геофон прикреплен винтами к трехточечному «резаку», который прорезает канавки в поверхности, по которой он буксируется. Посторонняя грязь выталкивается в сторону, а легкая растительность срезается, оставляя твердую почву, которая улучшает контакт с грунтом. В зависимости от типа грунта для утяжеления добавляется цепь. Пожарный шланг защищает кабель, уменьшает шум при буксировке и достаточно прочен для буксировки трактором.

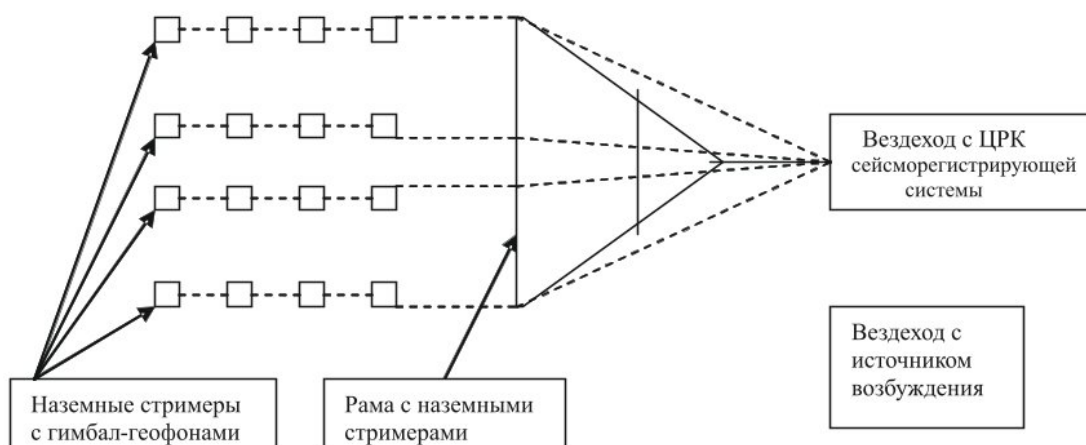
Специалисты компании Tyrens (Швеция), разработали 24-канальный наземный стример с простой и элегантной конструкцией [6]. Стример применяется в основном для сбора и интерпретации поверхностных волн. Эти данные обрабатываются и интер-

претируются с применением хорошо известной технологии MASW, использующей программное обеспечение, созданное Канзасской Геологической Службой.

Стандартные 4,5Гц геофоны OYO/Geospace монтируются на металлических пластинах (приблизительно 4 кг), размещенных на расстоянии 1м друг от друга и соединенных лентой из синтетического волокна. Для сбора данных используется сейсмограф Geometrics Geode и Notebook. В качестве источника сейсмических колебаний используется кувалда.

Несомненно, самый амбициозный на сегодняшний день наземный стример создан фирмой Montana Tech под руководством Marvin Speace, Curtis Link, Pat Miller и Jack Kruppenbach [6]. Чтобы сократить время развертывания расстановки, 96-канальная 3-D расстановка из 4-х стримеров буксируется вездеходным автомобилем с использованием лебедки, как при морской разведке (см. рис. 1).

С целью обеспечения хорошего контакта геофона с грунтом специали-



▲ Рис.1. 4 стримера буксируются вездеходом. Источник возбуждения перемещается независимо от расстановки наблюдения.

ты из Montana Tech взяли за основу конструкцию стримера, похожую на конструкцию, разработанную группой из ETH. На нижней стороне длинного резинового листа крепятся карданные геофоны, а на верхней крепится кабель. Сверху кабели прикрыты еще одним резиновым листом, что обеспечивает этой системе большую устойчивость к механическим воздействиям.

Сравнение данных, полученных с помощью геофонов, установленных в грунт, и наземными стримерами, показали, что имеются существенные отличия при размещении карданных геофонов непосредственно на мягкой поверхности, такой как трава. Но при использовании на влажном песке, асфальте или снегу результат практически одинаков.

Результаты экспериментальных работ по сбору и обработке сейсмоданных наземной разведки, полученных с использованием буксируемых кос с самоориентирующимися геофонами, демонстрируют их большие потенциальные возможности как эффективного средства изучения верхней части разреза. Основные преимущества использования наземных стримеров для исследования ВЧР заключаются в следующем:

- Отпадает необходимость установки геофонов, что весьма существенно при малом интервале установки геофонов;
- Существенно снижается количество обслуживающего персонала, используемого для проведения съемки;
- Существенно увеличивается скорость проведения съемки;
- Заметно снижается стоимость про-

ведения работ.

Естественно, результаты работ с использованием наземного стримера во многом зависят от поверхностных условий исследуемого района. Однако, несмотря на эти ограничения, ожидается, что использование наземных стримеров при исследовании ВЧР во многих районах позволит существенно сократить время проведения исследований и снизить их стоимость, при сохранении высокого качества полученных данных.

Ограниченное применение наземных стримеров, по-видимому, связано с отсутствием использующих их эффективных технологий, востребованных практикой сейсморазведочных работ. Прежде всего, это относится к прямым исследованиям ВЧР в районах со сложными приповерхностными условиями. Одна из таких технологий была предложена специалистами ОАО «Тюменьнефтегеофизика». Это, так называемая технология микроМОВ, предусматривающая использование высокопроизводительной буксируемой приемной косы, созданной специалистами ООО «ОЙО-ГЕО Интернэшнл» (Россия) [7]. Отличительной особенностью данной буксируемой косы является использование самоориентирующихся датчиков на карданном подвесе, подсоединенных к канальным отводам буксируемой косы с помощью разъемов, позволяющих быстро подсоединить или сменить датчик. В особых условиях, повышающих вероятность обрыва, резьбовое соединение разъема может не использоваться. В экстремальной ситуации произойдет лишь размыкание контак-

тов разъема без обрыва токоведущих жил. Такая конструкция делит устройство на две неравные по стоимости части: «малоценная» коса, на которую приходится основные усилия деформации, и самоориентирующиеся датчики, наиболее ценная и, как показали испытания, надежная часть изделия. Кроме того, один набор буксируемых датчиков позволяет работать с косами, имеющими различное расстояние между каналами. Длина приемной установки может быть изменена при незначительных затратах. Используемые датчики могут быть одно-, двух-, и трехкомпонентными.

Особый интерес применение буксируемой косы представляет для районов со сложными условиями проведения работ, таких как: север Европейской части России, Западная и Восточная Сибирь, Арктические шельфы России, а также Антарктика.

В 80-е годы учеными Мюнстерского университета (Германия) были проведены опытные работы с использованием буксируемой косы в Антарктике [8]. Длина буксируемой косы с подключенными к ней 96 геофонами, получившей название «снежный стример», составила 5760 м. усилие протяжки составило несколько тонн, при коэффициенте трения равном 0,3 в процессе протяжки и 0,5 в начале движения. Был отрабатан линейный профиль длиной 15 км.

В 1988 г. специалистами университета в Бергене, компаний Norsk HYDRO A/S и Store Norske Spitsbergen Kullkompani (Норвегия) с использованием «снежного стримера» был отрабатан линейный профиль длиной 300

км в долинах Slavbard (Норвегия) [9]. Используемый при проведении работ «снежный стример» имел длину 1500 м и 360 геофонов. Авторы отмечают существенное снижение затрат на проведение работ по сравнению с обычной технологией сейсморазведочных работ.

Эти и другие исследования, выполненные с целью выяснения особенностей применения данной технологии сейсморазведочных работ в условиях Крайнего Севера и Антарктиды, позволили получить ответы на следующие вопросы:

1. Влияние связи геофона с основной средой (земля, снег, лед) на качество регистрируемых данных;
2. Влияние окружающей среды на уровень шума;
3. Эффективность использования различных источников возбуждения.

Связь геофона с основной средой (земля, снег, лед)

В [9] приведены результаты сравнительных испытаний «снежного стримера» с самоориентирующимися геофонами, лежащими на поверхности, и установленными вручную геофонами, погруженными в снег. В геофонах, используемых в «снежном стримере», самоориентирующийся датчик был заключен в заполненный маслом цилиндрический металлический корпус. Корпус имел длину около 20 см, диаметр – около 4,5 см и вес – около 1 кг. Геофоны стримера лежали на снегу, в то время как геофоны, устанавливаемые вручную, были погружены ниже поверхности снега на 10 – 20 см.

Было выполнено множество сравнительных испытаний, однако существенных или систематических различий ни при по-трассовом сравнении, ни при сравнении сейсмограмм обнаружено не было. Был зарегистрирован профиль длиной 4 км в заснеженной тундре в центральном осадочном бассейне Шпицбергена с использованием как «снежного стримера», так и геофонов, установленных вручную. Приемная расстановка включала 60 каналов с расстоянием между ними 25 м, в то время как в качестве источника использовались две 50-ти метровые линии разложенного на поверхности детонирующего шнура общим весом 4 кг. Интервал возбуждений составлял 50 м, что обеспечило СМР перекрытие с 4х15 – кратностью. В процессе обработки наборы 4-х соседних компоновок трасс были просуммированы для получения квази- 60-ти кратного перекрытия [9]. Существенных отличий в отраженных сигналах не отмечено. Исходя из этого был сделан вывод о том, что различия в связи не влияют на данные и, что резонансные частоты системы геофон – снег возможно существенно выше 80 Гц.

Этот вывод подтверждается результатами, приведенными в [7]. При этом отмечено, что идентичность сигналов, принимаемых обычными и буксируемыми системами, достигается при соблюдении некоторых условий. К таким условиям относятся, прежде всего, массогабаритные показатели и, соответственно, удельная нагрузка на грунт. Улучшает результат и образова-

ние борозды в снегу, песке и др.

Уровень шума

Геофон, находящийся на поверхности, конечно более подвержен воздействию ветра и особенно к бомбардировке его частицами снега, чем геофон, находящийся под снегом. Натянутые кабели «снежного стримера» также могут вибрировать на ветру и генерировать шум.

В [9] приведены результаты испытаний «снежного стримера» в различных погодных условиях. В процессе выполнения работ гусеничное средство протягивало «снежный стример» на следующий пикет, затем сдавало назад на 1 м, чтобы устранить натяжение кабеля. После остановки в течение первых нескольких минут «снежный стример» становился менее шумящим. Этот эффект был наиболее замечен в течение одной или двух минут после перемещения кабеля.

Уровень шума очень зависит от скорости ветра. Только при скорости ветра свыше 6-8 м/сек шумы «снежного стримера» существенно превышают шумы установленных геофонов и по-видимому этот дополнительный шум в основном вызван ударами по геофонам перемещающихся частиц снега, что имеет место только при вышеуказанной скорости ветра. Тот факт, что при более низких скоростях ветра погруженные геофоны имели почти такой же шум, что и «снежный стример», говорит о том, что в основном энергия ветра передается через снег, а доля шума, связанная с непосредственным воздействием ветра на

геофон, незначительна.

Важное значение имеет также направление ветра относительно кабеля. Отмечено, что при сильном ветре (свыше 6-8 м/сек) «снежный стример» был более шумным при направлении ветра поперек кабеля, чем вдоль него. В одном эксперименте разница составила более 10 дБ. По-видимому, это связано с тем, что в этом случае воздействию ветра подвержена большая поверхность кабеля и геофонов. Шум ветра носит широкополосный характер, уменьшающийся на 0,1 дБ/Гц в полосе 10 – 100 Гц. Пространственная когерентность незначительная даже при расстоянии между геофонами 0,5 м.

При оценке использования технологии «снежного стримера» в программе исследований такой недостаток, как повышенный шум при больших скоростях ветра, необходимо рассматривать с учетом экономии средств за счет увеличения производительности труда и уменьшения численности партии. Кроме того, если нельзя поступиться качеством, то же самое соотношение сигнал/шум может быть получено допущением периодов простоя из-за погоды или использованием более мощного источника возбуждения. Если даже принять, что время простоя из-за сильных ветров займет 20% всего времени проведения работ, производительность все равно останется повышенной, поскольку в оставшиеся 80% времени она в 2÷4 раза выше по

сравнению с обычной технологией.

Возбуждение колебаний

При проведении работ в сложных условиях Арктического шельфа, где в силу естественных причин возможности доставки оборудования и расходных материалов ограничены, большое значение имеет выбор эффективного источника возбуждения. Данная проблема подробно рассмотрена в [10]. В ходе экспериментальных работ, проведенных на Антарктическом шельфе, были испытаны различные типы и размеры источников взрывного типа, возбуждаемые как на поверхности, так и в скважинах. Согласно [10] для концентрированных зарядов, взрывааемых на поверхности снега с низкой плотностью, характерно ослабление высокочастотной составляющей спектра возбуждаемых колебаний. При этом для распределенного заряда (детонирующий шнур) этот эффект был менее заметен, особенно, когда шнур был заглублен на 10 см. Это вполне согласуется с данными, приведенными в [9], где дополнительно отмечено, что использование в качестве источника возбуждения колебаний детонирующего шнура хорошо согласуется с технологией проведения работ с использованием «снежного стримера» и обеспечивает высокую производительность работ. Так весь цикл перемещения на следующий пикет (25 – 30м) и регистрации занимал около 1 минуты. Это конечно большое преимущество технологии «снежного

стримера» и для его реализации требуется использование эффективного источника возбуждения. С использованием детонирующего шнура производительность работ достигала 3 км/час [9].

Дальнейшее развитие технологии выполнения сейсморазведочных работ с использованием буксируемой сейсмической косы, по-видимому, может быть связано с использованием в конструкции буксируемой косы одноканальных телеметрических модулей с встроенными самоориентирующимися сейсмодатчиками и питанием от бортовой сети, а также обеспечением возможности подключения к ним геофонов, устанавливаемых вручную. Комбинирование двух типов регистрации придаст большую гибкость данной технологии, позволит работать при наличии препятствий в виде торосов, морен и т.п. и должно существенно повысить качество регистрируемых данных и надежность работы всей системы.

В настоящее время технология, использующая буксируемую косу («снежный стример»), еще не нашла широкого применения при выполнении сейсморазведочных работ. Однако, можно с большой долей уверенности предположить, что использование данной технологии выполнения сейсморазведочных работ со временем увеличится, поскольку расходы на сейсморазведку необходимо уменьшать, а исследования в северных районах расширяются.

Литература

1. Kruppenbach, J.A. and Bedenbender, J.W. 1976. Towed land cable. US patent no.594590
2. Бевзенко Ю.П. А.с. №329490 кл.42, стр.42. Транспортёр сейсмических приемников. Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки, №7, 1972.
3. Бевзенко Ю.П., Техника и технология многоуровневых сейсмических исследований на севере Западной Сибири. Приборы и системы разведочной геофизики., №2, 2004 г., с.31-35
4. Van der Veen, M. and Green, A.G. [1988] Land streamer for shallow data acquisition: evaluation of gimbal-mounted geophones. *Geophysics*, 63, 1408-1413
5. Van der Veen, M., Spitzer, R., Green, A.G., Wild, P. [2001] Design and application of a towed land-streamer for cost-effective 2D and pseudo-3D shallow seismic data acquisition. *Geophysics*, 66, 482-500
6. A Report On Land Streamers: The last Geophone You Will Ever Plant?, GEOMETRICS [2008],
<ftp://www.geom.geometrics.com/pub/seismic/Literature/LandStreamersV3.pdf>
7. Козловский Н.К., Качагин А.А., Воронцов И.В. Буксируемые косы для исследования ВЧР. Приборы и системы разведочной геофизики, № 4(10), 2004, с.31-33
8. Determann, J., Thyssen, F. and Engelhardt, H. 1988. Ice thickness and sea depth derived from reflection seismic measurements on the central part of Filchner-Ronne Ice Shelf. *Annals of Glaciology* 11, 14-18.
9. Eiken, O., Degutsch, M., Riste, O. and Rød, K. 1989. Snowstreamer: an efficient tool in seismic acquisition. *First Break*, Vol.7, no.9
10. King, E.C. and Jarvis, E.P. 1991. Effectiveness of different shooting techniques in Antarctic firn. *First Break*, vol. 9, no. 6