

## Наземная сейсморазведка

## Время пересмотреть подход к сейсмической регистрации наземных

## данных 3С. Time to re-evaluate our approach to 3C land seismic acquisition

Bob Heath,\* Ascend Geo, считают, что ситуация с наземной сейсмической регистрацией 3С на основе MEMS преувеличена и необходимо рассматривать другие опции в случае, если идеалы 'полноволновых работ' должны стать коммерческой реальностью.

Рассматривая потенциальные преимущества, которые может теоретически дать многокомпонентная регистрация сейсмической отрасли, удивительно, что она все еще имеет такую малую долю в работах. Даже насколько я могу помнить, 3С считается Святым Граалем сейсморазведки. Хотим ли мы посмотреть на вступление S волн или использовать векторный вид шума/сигнала Р-волны, метод был готов решить наши наиболее трудные вопросы десятилетия.

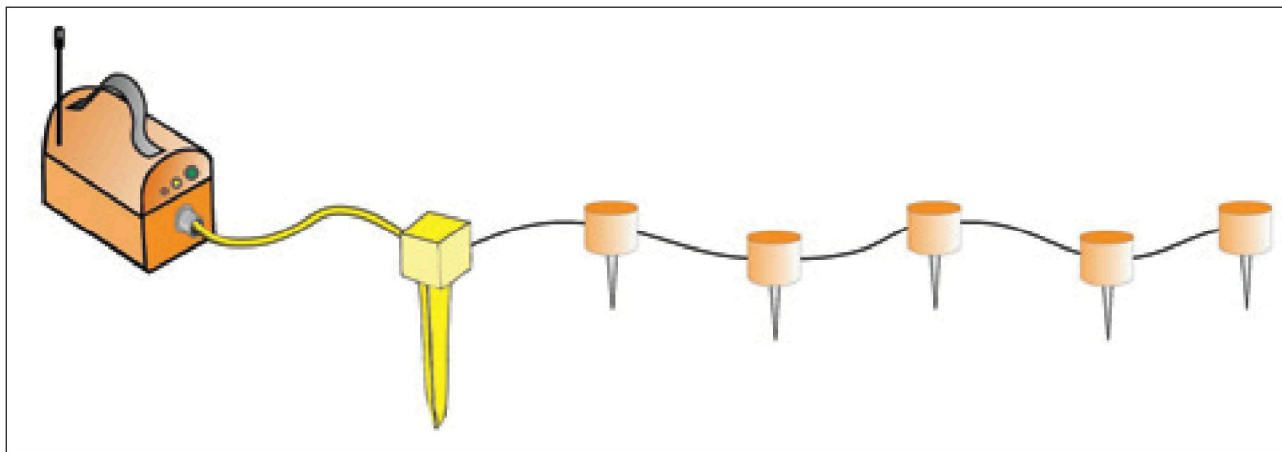
Кажется, у нас еще нет гео-версии Кода Да Винчи для раскрытия секретов 3С, поэтому мы еще теряемся в догадках, проводить или нет подобные работы при разведке, что обычно заканчивается выбором менее рискованных альтернатив для решения определенных трудностей построения изображений. Некоторый V - подход только приближается к хорошей работе и будет даже еще более успешным по мере того, как будут преодолены ограничения на число каналов с помощью использования беспроводных систем. Против других не-3С методов сговорились основы физики, и исключение информации по поперечным волнам всегда ограничит возможности решения определенных геофизических задач.

В опросе общественного мнения, проведенного в 2004 и описанного в октябрьском номере *The Leading Edge*, найден консенсус о том, что последний опыт применения 3С регистрации послужил только демонстрацией того как иллюзорна остается наука, и что это является нишей рынка, насколько, насколько это касается промышленности. После проведения прошлого года семинара по многоволновой сейсмике

в По, Франция, председатель сказал, что '... данные поперечных и обменных волн очень высоко ценятся, также высоко как пять лет назад. Это должно рассматриваться как положительный знак, поскольку за последние несколько лет промышленность приобрела большой опыт...' В лучшем случае, это можно считать осуждением со слабой похвалой. Может это просто другой способ сказать 'За последние пол-десятилетия мы много узнали по многокомпонентной сейсмике, но несмотря на это, мы еще не сдаемся'?

Кажется, что как и при генерировании энергии в процессе ядерного синтеза – чем больше мы узнаем про многокомпонентные данные, тем больше понимаем, что мы еще в реальности несведущи. За последние несколько недель был сделан доклад о том, что самый последний международный проект по ядерному синтезу ITER может дать нам жизнеспособные «банальные» реакторы к 2040 году. Может ли кто-нибудь поставить на то, что стандартное применение 3С начнется раньше этой даты? Один коллега прокомментировал, что 3С должно символизировать 'изменение климата и рак' поскольку, согласно ему, у нас есть больше шансов в решении этих проблем, чем у нас их было в понимании многокомпонентных исследований.

Для большинства людей, упоминание 3С обычно означает MEMS (микроэлектрические механические системы). То, что эти два понятия делаются синонимами – знак времени, поскольку очень мало многокомпонентных работ в настоящем выполняется с чем-либо кроме этих цифровых акселерометров. Мало, если они есть, производителей, предлагающих альтернативу трехосным блокам MEMS



\* E-mail: rgheath@btconnect.com

## Наземная сейсморазведка

развивают свои собственные технологические решения. Поэтому легко поверить, что MEMS является наилучшим, или даже единственным путем получения данных ЗС, открытым для нас. Это впечатление еще было усилено продавцами MEMS, которые, в конце концов, просто занимаются своим бизнесом. Но, как мы убедимся, это заблуждение, вредное, и обреченное на провал представление.

Вина за относительно ограниченное понимание 'полноволновой' регистрации может быть отнесена на счет разнообразных факторов, которые в моем представлении, по своей природе, являются скорее коммерческими, чем техническими. В настоящий момент, нетехнической проблемой для MEMS является то, что они привязывают вас слишком сильно к одному производителю. Невозможно использовать ваш любимый цифровой акселерометр совместно с любимым оборудованием, за исключением того случая, что они производятся одной компанией. Естественно, имеются технические причины отсутствия выбора, но представление MEMS как единственного решения при регистрации ЗС имеет тенденцию к ощущению сокращения выбора, что, таким образом, уменьшает конкуренцию. Наземный сейсмический бизнес уже страдает от ограничений в разнообразии методик и способов решений, поэтому я, стою за увеличение выбора, там где это реально.

Иногда дискуссия о MEMS кажется мне похожей на отчаяние. Например, я знаю не много людей, которые бы считали, что имеются преимущества получения ЗС данных просто для того, чтобы хранить данные горизонтальной компоненты в надежде, что в один прекрасный день мы узнаем как использовать эти данные. Это как раз тот случай, когда за более низкую цену, можно выполнить V-съемку высокой плотности. Такая съемка может быть эффективной в поиске ценных углеводородов для продажи их за \$60/баррель, время, когда мы станем ЗС-дружественной индустрией, затягивается.

В большинстве областей научных разработок, инновацию часто постигает затишье, после некоторого первичного возбуждения от ее потенциала. Примеров тому много, начиная от попытки Боинга разработать коммерческий сверхзвуковой самолет для того, чтобы побороться с Конкордом, до поиска лекарств от обычной простуды. Поэтому не надо удивляться



текущему состоянию ЗС работ и исследований. И снова, согласно одному аналитику, минимальный успех ЗС обязан тому факту, что 'инструменты правильной обработки и интерпретации, которые первостепенно значимы для нормальной работы с горизонтальными компонентами,

доступны не всем'. Даже если они легко доступны, возможно наибольшей проблемой будет улучшение навыков людей в обработке и интерпретации. Это все является частью классического случая Catch-22: у нас нет инструментов, чтобы ЗС стало повседневным выбором, и наша индустрия в настоящий момент не способна развить инфраструктуру для разработки этих инструментов, и не сделает это до тех пор, пока ЗС не станет более распространенной.

Когда мы хотим развивать научную или инженерную идею, мы обычно стараемся увеличить количество доступных данных и увеличить число людей, работающих над проектом. Это не случай с ЗС и может как раз объяснить причину относительной неудачи. Может ли быть, что мы так активно рекламировали многокомпонентную опцию, что она стала слишком дорогой для приобретения и/или она не отвечает нашим ожиданиям, который сами по себе нереальны.

Если мы хотим узнать больше за следующие пять лет, чем мы узнали в прошлом, регистрация ЗС должна применяться более рутинно, и данные должны быть более доступными. Также, по некоторым соображениям, данные должны быть более высокого качества, чем в настоящий момент.

Многокомпонентные работы едва ли новы: исследовательские партии получали подобные данные 20 и более лет назад. Некоторые из нас достаточно стары и помнят об использовании индукционных сейсмоприемников ЗС и опытных партий некоторых систем регистрации, сделанных для V систем сбора данных, а также оборудование с аналоговой передачей или ранние цифровые телеметрические системы. Были также такие продукты как Omniphone снабженный поляризационным фильтром. Многие считали, что такая фильтрация работает удовлетворительно только тогда когда шум удобен для анализа; некоторые думали, что причина была в инструментальном динамическом диапазоне; и почти все верили, что число каналов было слишком мало для адекватной пространственной дискретизации, которая для сейсморазведки лежит в диапазоне 5 -15 м при использовании расстановок и диктуется физическими соображениями.

В любом случае, сама технология датчика не подвергалась критике. По мере того, как некоторый прогресс был сделан в науке, лежащей в его основе, индустрия не примкнула к победившим. Потребовался маркетинг технологии MEMS для возрождения интереса. Недавно проводимый опрос по поводу вышеозначенного также навел на мысль, что поляризация работает только когда шум удобен для анализа и данные возможно были недодискретизированы, даже при использовании современных систем сбора. Никакая умная обработка или причудливый датчик не спасет нас от необходимости обеспечить правильную пространственную дискретизацию относительно непредсказуемых видов шумов, артефактов источников, и шума, вызванного нелинейными процессами, которые могут влиять на P- и S-волны.

Хотя, когда все чаще используют ЗС в качестве инструмента разведки, ограничения поляризационной фильтрации и пространственная недодискретизация являются не единственными или главными проблемами. Также речь не идет о нехватке правильных инструментов обработки/интерпретации и персонала, способного эффективно их использовать. Нельзя также судить нехватку источников S-волн. Правда в том, что MEMS

## Наземная сейсморазведка

технология, в том виде, что она предлагается, имеет встроенные ограничения, которые ограничивают распространение на рынке ЗС.

Прежде всего, системы MEMS конечно являются устройствами точечного приема Р и S. Это может иметь преимущества в случае, если плотность датчиков высока и возможно, может оправдывать нашу претензию на то, что мы выполняем полноволновую дискретизацию. Хотя, практически при любой съемке среднего или крупного масштаба 3D, достаточность плотности дискретизации подразумевает возможно по крайней мере 20,000 точек приема. Далее, достаточно часто можно видеть, что с данными Р-волн гораздо проще обращаться путем расстановок. Итак, игнорируя С- и S-волновую регистрацию, простые Р-волны (те, на которые мы полагаемся, и которые дают нам ключ к тому, чтобы контролировать других) скорее всего не будут лучше получаться с MEMS, за исключением случая, когда число станций насчитывает больше пяти символов. Найквист не исчезает даже в случае, если вы ему дадите взятку по трем осям. До тех пор, пока многие сейсморазведки с малым числом станций ЗС MEMS могут только предложить скорее всего недодискретизированные данные Р- и S-волн - это вряд ли будет лучшим способом продемонстрировать преимущества многокомпонентной регистрации!

Второе, цена и доступность на рынке достаточно больших многокомпонентных систем регистрации – вопрос, который остается. Иными словами, сколько 10-20,000 ЗС процессов станции, т.е. на 30-60,000 каналов, всего есть? Я подозреваю что ответ 'не много', при данной цене таких продуктов. Поэтому, если всего доступно несколько подходящих партий, конкуренция будет ограничена. Возможно, только несколько из основных сейсмических подрядчиков будут их предлагать, поэтому вы можете быть уверены, что стоимость для нефтяной компании на подряд таких работ несет в себе наценку. У той же логики будет прямой эффект даже в случае 2D многокомпонентных работ, где важна достаточная плотность станций.

К счастью, решение более частого использования ЗС достаточно простое и уже доступное: нам просто надо вновь начать использовать аналоговые сейсмоприемники. Мне известно о недавнем маркетинге аналоговых датчиков ЗС или публикациях о R&D работах по многокомпонентным индукционным геофонам. Может быть это связано с тем, что многие теперь рассматривают ЗС и MEMS как синонимы и больше не думают об использовании вертикальных и горизонтальных сейсмоприемниках-велосиметрах. Но конечно же, если ЗС как метод будет иметь хороший результат, то нам потребуются вывести его за пределы парадигмы MEMS чтобы у нас была свобода разведки.

Давайте пересмотрим некоторые характеристики цифровых датчиков типа MEMS и сравним их с верными индукционными сейсмоприемниками, используемыми как часть смонтированных расстановок или по отдельности, в вертикальной или горизонтальной ортогональной ориентации. Нам нужно посмотреть на характеристики, надежность, и цену, а затем мы поймем почти все что нам нужно знать, чтобы наилучшим образом расширять рынок сбора данных ЗС. Это также позволяет нам рассматривать при каких условиях точечные приемники превосходят косы. Другой способ посмотреть на это – насколько короткой должна стать группа сейсмоприемников для того, чтобы она не могла бы использоваться как коса, момент, начиная с которого

MEMS может иметь особую значимость.

Это приведет нас к вопросу о числе каналов и методам, которые сделают живучими и экономичными такие устройства со многими станциями, и что четко поставит метод ЗС на всеобщую карту разведки.

## Сравнение датчиков

Посмотрим на некоторые начальные заявки акселерометров MEMS в их приложении к многокомпонентной регистрации и сравним их с индукционными сейсмоприемниками, предлагаемыми современной промышленностью. Некоторые из рекламируемых характеристик MEMS можно обобщить:

- Цифровые данные на выходе
- Улучшенная векторная точность
- Широкополосная линейная фазовая и амплитудная характеристика
- Шум датчика
- Динамический диапазон
- Уменьшенное потребление энергии
- Эффективность эксплуатации
- Запись одного датчика (точечный приемник).

## Цифровые данные на выходе

Заявлено, что уменьшение аналоговых кабелей улучшает качество данных. Можно было бы заявить это в дни технологий DFSS-типа когда мили аналоговых кабелей действовали как наводки, тогда усилители с плавающей запятой могли привести к тому, что усиление сигнала выводило его за пределы диапазона. Однако, современные 24 битные телеметрические системы не имеют ни усилителей с плавающей запятой ни аналоговых пар длиннее нескольких сотен метров, поэтому мы уже пожинаем большую часть этих преимуществ при переходе к распределенным системам дельта сигма. Также, если мы примем допущение о том, что регистрация ЗС требует высокой плотности приемников, то по определению, аналоговый кабель должен быть коротким. Итак, трудно увидеть то, что эта заявка цифровых датчиков предлагает много преимуществ по сравнению с передовым кабелем малой длины с присоединенным сейсмоприемником ЗС.

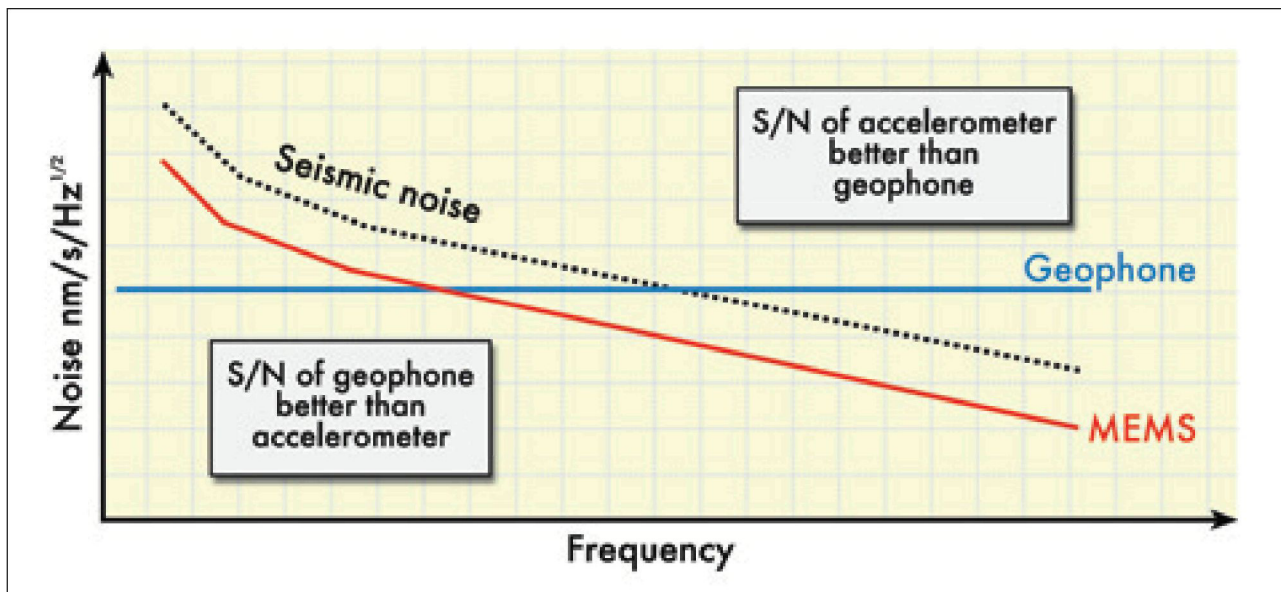
Если идея цифровых данных на выходе означает меньшую длину кабелей на земле по причине логистики, это уже другой вопрос. Однако, всегда лучше иметь меньшую длину всех типов кабелей на земле, и естественно, первый кабель, от которого мы бы хотели освободиться – телеметрический кабель поскольку они несут в себе 75% веса всей системы и 95% проблем простоя системы. Действительно, эта статья покажет, что расширенное использование ЗС возможно при использовании аналоговых датчиков ЗС и записывающего оборудования, абсолютно свободного от цифровых кабелей.

## Улучшенная векторная точность

Я также видел, что это путают с 'полно-волновой регистрацией', но оба заявления часто делают про ЗС MEMS регистрацию. Запись может быть полноволновой только когда имеется достаточное количество точек ЗС, иначе это будет просто 'потенциально полноволновые данные с пространственным аляйсингом', что не точно представлено в маркетинговой литературе или в



## Наземная сейсморазведка



презентациях Powerpoint. В любом случае, расположенные с высокой плотностью трехосные индукционные сейсмоприемники равно способны отразить 'полноволновую картину' в этом смысле, и векторная точность является функцией многих вещей, на малую толику которых имеется монополия у MEMS.

Алгоритмы векторной точности существуют для того, чтобы данные 3С преобразовывались и оказывались идеально ориентированными на основе измерения G, эту возможность дает MEMS, и много достигается благодаря мощным адаптивным фильтрам. Они могут быть мощным инструментом распознавания сигналов, у которых есть закономерности поведения по трем компонентам, например поверхностная волна. Но многие коротковолновые шумы, такие как волны, распространяющиеся по волноводам, рассеянная прямая волна, и головные волны часто являются оцилляциями одной моды и не могут быть отфильтрованы с помощью поляризационных или адаптивных фильтров, поэтому общая эффективность методики всегда будет ограниченной, и вновь для большинства приложений практически нет выбора между MEMS и индукционными сейсмоприемниками. Точность отображения вектора всегда будет лучше с помощью приемников Гальперина, которые имеют одну и ту же характеристику для всех трех компонент. К сожалению, приемники Гальперина не широко распространены.

**Широкополосный линейная фазовая и амплитудная характеристика** Низкочастотная характеристика акселерометров в общем является выгодной и является той областью, где приемникам 10 Гц со своей крутизной 12 дБ/октаву трудно соревноваться, что делает удивительным тот факт, что этот аспект не рекламируется больше приверженцами акселерометров. Но если поставить это в нужный контекст, простой приемник 10 Гц все еще будет откликаться на 2.5 Гц смещение, но только с 24 дБ спадом по сравнению с откликом на 10 Гц, и это не должно быть проблемой для деконволюции. Однако очень низкие частоты не имеют смысла из-за различного типа

поверхностных волн, доминирующих в этой полосе спектра. Операторы деконволюции, которые обычно имеют длину менее 100 мс, делают очень плохую работу при управлении фазой для частот менее 10 Гц. Это объясняется тем, что идентифицировать фазу сигнала, там где доступно менее одного цикла, очень трудно, и приемники MEMS здесь сильно помочь не могут.

Согласно базовым принципам и независимо от того, данные S- или P-волн мы получаем, нет никаких сомнений в том, что плоская амплитудно-частотная характеристика - что-то, за что мы должны быть благодарны. Хотя, есть ли какие-то затруднения в использовании датчиков с плоской амплитудной характеристикой вне интересующей нас полосы частот? Некоторые производители датчиков настраивают свою продукцию на крутизну в конце сейсмического диапазона частот и утверждают, что это дает наилучшую характеристику. Из того, что я знаю, все еще имеются сомнения по этому вопросу, составляет ли это главное преимущество точечных приемников MEMS.

#### Шумы датчиков

Теперь переходим к потенциально самым важным вопросам. Если электрический шум одного приемника и блока MEMS сравнить с обычным природным сейсмическим шумом, мы увидим, что почти до 40 или 50 Гц, сейсмоприемники ведут себя лучше, чем MEMS. Но в то время как MEMS можно использовать только как точечное устройство группы в поле, для индукционных приемников нет таких ограничений, поэтому мы должны думать есть ли преимущества в получении V компоненты 3С с короткой косой перед тем как их сравнивать.

#### Наклон датчика

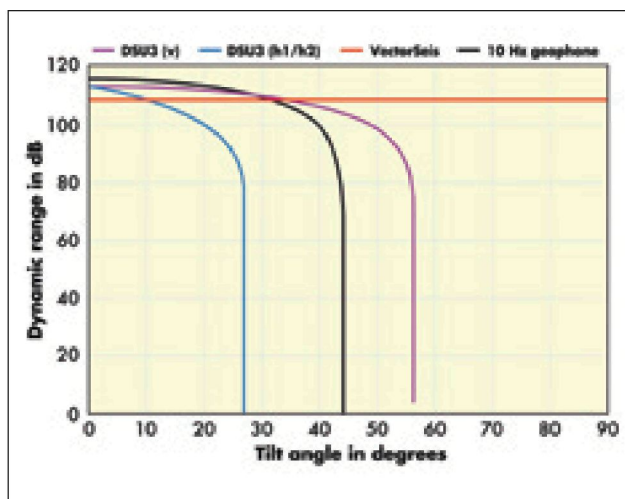
Устройства MEMS способны указывать на то, как далеко от истинной вертикали они находятся путем измерения G. Опубликованные графики динамического диапазона как функции наклона показывают вариации между различными версиями MEMS, но сравнивать надо один MEMS и один сейсмоприемник. Фактически сейсмоприемник кажется

## Наземная сейсмозащита

подходящим для большинства целей V, по меньшей мере до углов  $35^\circ$  от вертикали. Те сейсмопартии, работающие по всему миру, которые уже используют устройства установки для аналоговых сейсмоприемников, маловероятно, что они найдут много отличий вообще. Некоторые современные индукционные приемники также имеют лучшие характеристики по горизонтали, чем это обычно считалось, хотя и не такой хороший, как MEMS в этом отношении, они все же достаточно хороши для большинства приложений 3С. Любой точечный датчик кладет все яйца в одну корзину преобразователя, и чем ниже число станций, тем рискованней это становится. Блоки MEMS должны быть установлены/соединены идеально и работать все время или данные канала будут далеки от оптимальных. Также если пространственная дискретизация с MEMS низкая, возможно, по причине стоимости, то плохие или потерянные каналы становятся важными. И наоборот, у косы имеется эффект осреднения, который может быть полезен, это своего рода страховка на случай низкой плотности пикетов. Итак, есть моменты, когда знание наклона очень важно, но его надо взвешивать против значимости малой косы.

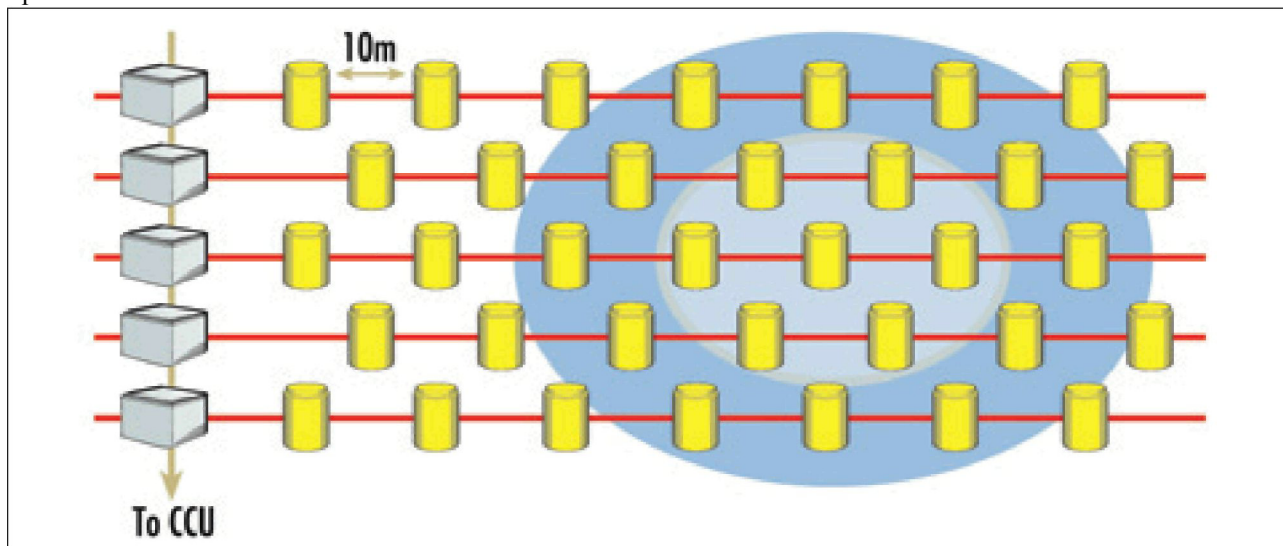
*Динамический диапазон*

В зависимости от того, каким характеристикам вы верите, общий динамический диапазон цифрового аппарата и его электроники 120 дБ, тогда как современной 24 битной системы до 140 дБ. Обе цифры находятся за пределами того, что мы в настоящий момент можем или сильно используем, но коса приемников обычно более эффективна одного датчика при записи слабого отражения в присутствии сильного шума, и для нас это очень важно. Группа приемников улучшает динамический диапазон на  $10 \times \log N$  дБ поскольку шум среды уменьшается на квадратный корень из N, тогда как одиночные датчики не способны подавлять шум среды или шум, вызванный возбуждением. Коса также выполняет пространственную фильтрацию и это особенно верно, когда верно выбрана дискретизация для расстановки для аккуратного приема поверхностной волны. Имеются все хорошие моменты для V и никаких плохих новостей для горизонтальных компонент индукционных приемников.



Однако, на записи одним датчиком может доминировать шум и это даже хуже, при использовании точечного источника. В шумных районах с высокоамплитудной диспергирующей и рассеянной поверхностной волной и высоким уровнем шума, я слышал о том, что многие записи MEMS вообще не дают полезных сигналов, если их надо получить в процессе обработки, то нужно существенное увеличение кратности суммирования.

Неотъемлемыми преимуществами постоянных расстановок можно пояснить, почему некоторые считают, что группы близкорасположенных датчиков MEMS должны быть использованы для симуляции кос. Рисунки, приведенные здесь, отображают как серия близкорасположенных, параллельных линий отдельных цифровых приемников 1С, может быть на расстоянии 10 м, могут представлять собой дизайн нескоммутированной приемной расстановки. Но если это подход, который нам нужно перенять при работе с точечными приемниками типа MEMS – большим числом отдельных точечных датчиков – то нужно поставить под сомнение точечные приемники, и конечно подвергнуть сомнению любую технологию, которая заставляет пользователя использовать только точечные расстановки, для 1С или 3С.



## Наземная сейсморазведка

Мы можем заменить каждый блок MEMS в этом рисунке на сейсмоприемник и записывать его также отдельно. Это возможно, будет более простой коммерческой операцией учитывая широкую доступность индукционных сейсмоприемников (некоторые партии на Ближнем Востоке имеют порядка одной третьей миллиона сейсмоприемников) и отсутствие необходимости в использовании специально приспособленных под MEMS систем регистрации. Затем, теоретически лучшая обработка может быть выполнена, но теперь нам снова приходится вернуться к большому числу каналов, которое при использовании MEMS и/или кабельных систем, может быть непомерно дорого.

В каждой заданной точке приема, можно использовать различный тип группирования, например, как показано голубым цветом семь приемников, и синим - показано 19 или 20 приемников. Помним, что это симулирование одной линии, а не пяти профилей 3D. При соответствующей обработке, эта схема может иметь очень хорошие свойства группы, гл если нам потребуется в семь или может быть в 20 раз больше каналов, то возможно существует нечто лучшее, что можно придумать с таким количеством оборудования. Если нам требуется прийти к этим значениям длины чтобы заставить MEMS дать нам то, что индукционные приемники дают бесплатно, то мы сможем больше ценить хорошо распланированные группы и то, что они могут нам дать, по крайней мере в V!

Итак, системы MEMS обычно имеют слишком большие интервалы приема, а при таком увеличенном интервале, с компонентой V лучше обращаться путем расстановки приемников. Ситуация не лучше для 3C регистрации, поэтому едва ли MEMS может гордиться своей микротехнологией в этой области.

### Потребление энергии

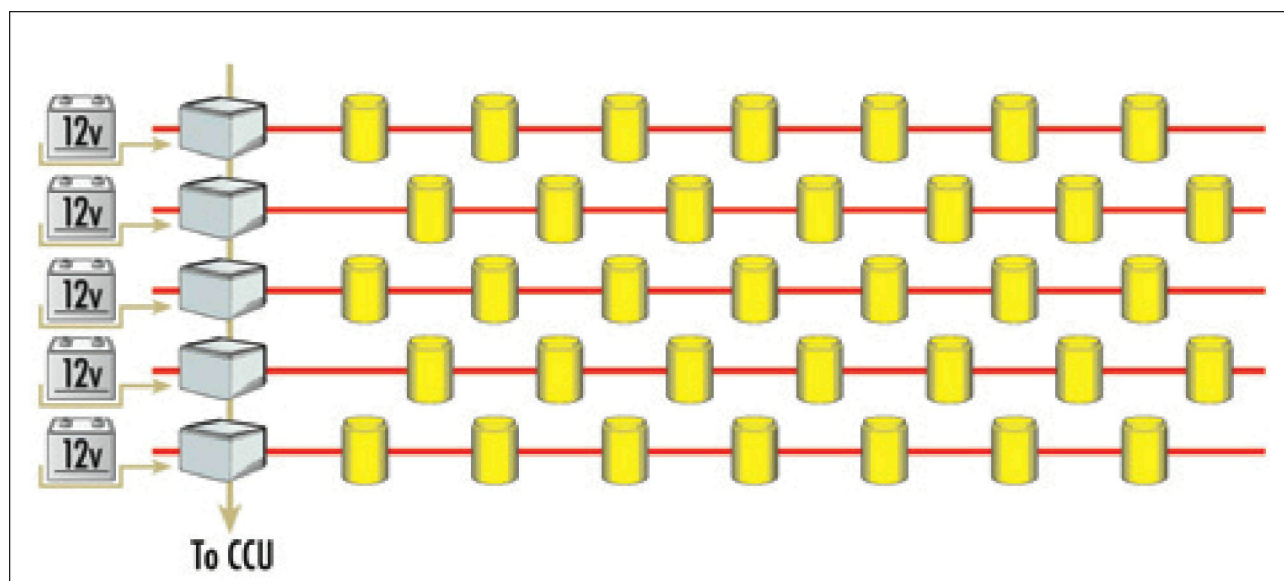
Сейсмоприемник, даже его 3C версия, не требует батареек для работы, тогда как модулю MEMS все время необходимо питание. Если точечные расстановки требуют малых интервалов и коридоров приемников для того, чтобы получить адекватную дискретизацию шума, то общая пропускная

способность канала будет многие десятки тысяч каналов. Поэтому, кажется, мы говорим о высокой потребности в энергии при регистрации MEMS 3C – снова препятствие для ее использования.

Если рассмотрим заявку MEMS о том, что они потребляют мало питания, мы должны удивиться – мало по сравнению с чем? На по-канальной основе, MEMS не зарабатывает хороших очков даже в случае 1C. На основе сокращенного потребления энергии относительно к числу точек расстановки, индукционные приемники снова тратят меньше энергии. Возможно, системы MEMS используют меньше энергии, если считать на партию в целом? Едва ли – если нам надо запустить работу, даже весьма приблизительно схожую с подходом 'коридоров MEMS'. А для работ 3C MEMS тратят меньше энергии? И снова тот же ответ, не по сравнению с 3C индукционными приемниками.

Действительно, мы не должны концентрироваться на питании как таковой, а на энергии, которая есть *мощность x время*, поскольку блоки MEMS нужно включать на все время, пока происходит регистрация. Это вопрос для систем, которые распределяют питание батареи 'вниз по линии', поскольку общая используемая энергии не только относится к периоду времени, когда включен MEMS; она также пропорциональна длине распределительного кабеля и квадрату силы тока. Это причина, почему системы с питанием вниз по кабелю в реальности получают от батарей гораздо больше, чем указывают технические требования по потреблению энергии.

Это не тривиальные вопросы для бригады 3C, поскольку перемещение веса батарей, необходимых для поддержания больших работ 3C MEMS может быть существенной заботой, так впрочем и потенциальная опасность для окружающей среды поскольку подобные батареи нужно заменять регулярно. Проблема общего потребления энергии может стать даже более критической при работах 3C, при которых используют новые системы 'непрерывной записи'. При этом, каждый блок имеет свою внутреннюю память и должен быть автономным на срок до трех недель. Необходимость обеспечивать блоки MEMS питанием на такой период еще более усложняет ситуацию.





## Наземная сейсморазведка

В заключение, энергетически очень трудно увидеть преимущества систем MEMS, независимо от того используется ли цифровой кабель или инструменты без кабеля. Опция, дающая низкое потребление питания для 3С – использование индукционных приемников, и чем больше партия, тем больше индукционные приемники будут превосходить датчики, требующие питания.

## Точечная расстановка 3С + V?

Целые книги и различные статьи были написаны на тему записи точечных источников/точечных приемников. Большая часть из них относится к регистрации V, в то время как гораздо меньше внимания уделялось преимуществам или недостаткам расстановок для: С-волн и S-волн.

Для регистрации Р, может быть существенные различия между самой маленькой кажущейся скоростью желаемых Р-волн и когерентным шумом, который необходимо подавить, но я благодарен Gijs Vermeeg за указание на то, что для S-волн это абсолютно по-другому. Часть конуса поверхностным волн – просто поперечные волны, которые мы хотим зарегистрировать, и только волны Релея и Им подобные должны быть подавлены при практически небольшой разнице кажущихся скоростей. Таким образом, при регистрации S-волн расстановки не имеют особого смысла, если только нет высокого уровня шума, параллельного первым вступлением.

Для обменных волн, вопрос немного отличается. Средняя скорость С-волн является средним гармоническим двух скоростей Р и S. Расстановки возможно более полезны для С-волн, чем для S-волн, но, в общем, мы можем обвинять в небольшой пользе расстановки при записи горизонтальных компонент, и поэтому в этом отношении индукционные приемники дают небольшой или вообще не дают выигрыша. Хотя, это едва ли является подкреплением для использования MEMS и для горизонтальных сигналов.

Для затухания когерентного шума, расстояние между точечными приемниками должно уменьшаться по меньшей мере до величины Найквиста, что необходимо для более тонкой дискретизации различных мод шума. Поперечно-обменные прямые волны могут иметь почти такую же низкую скорость как и поверхностные волны и имеют однокомпонентный режим распространения, и также должны быть дискретизированы. Расстановки являются пространственными и анти-алиасинговыми фильтрами и помогают не засорять волнами всех типов с очень малой длиной волны сигналы с большой длиной волны на записях трасс с редкой дискретизацией. Если мы хотим использовать точечные приемники для того, чтобы решить все эти

проблемы, это бы означало достаточно высокую плотность приемников – которая может в некоторых областях составлять метр или около того.

Необходимо отметить, что обычно высокочастотная компонента С- и S-волн уменьшается относительно быстро по сравнению с Р-волной по мере их прохождения в Земле. В некотором смысле это увеличивает трудности записи высокочастотных данных S- и С-волн, и это может или не может быть исправлено путем использования датчиков MEMS. Однако, с другой стороны, эта более низкая полоса частот S- и С- волн одновременно сокращает необходимость более тонкой дискретизации, что идет на руку MEMS, учитывая цену их предполагаемого использования для записи более тонко дискретизированных данных.

Тем не менее, если мы должны поверить заявкам 3С что 'информация по S-волнам улучшает обработку данных Р-волн', то нам требуется как можно больше данных по S-волнам. В этом случае, вопрос становится таким – можем ли мы получить больше данных по S-волнам на единицу цены, путем использования аналоговых датчиков или цифровых.

Аналоговый датчик 3С + V<sub>p</sub>

До настоящего момента, мы сравнивали технические преимущества или недостатки, цифровых датчиков при работах 3С на «детской» площадке, большей частью построенной производителями MEMS, что кажется значительно тенденциозным в угоду команде акселерометров. Но будет большая польза, если мы захотим увидеть широкомасштабное использование 3С (и для этого нам не требуется G).

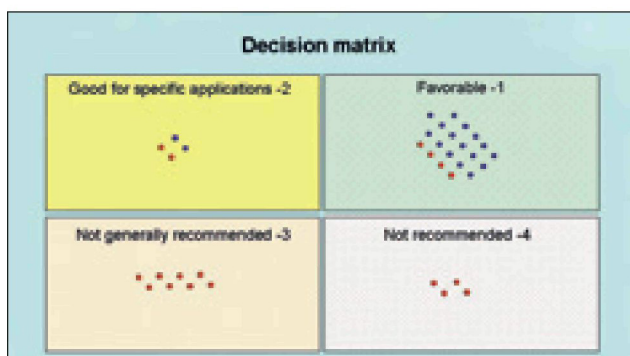
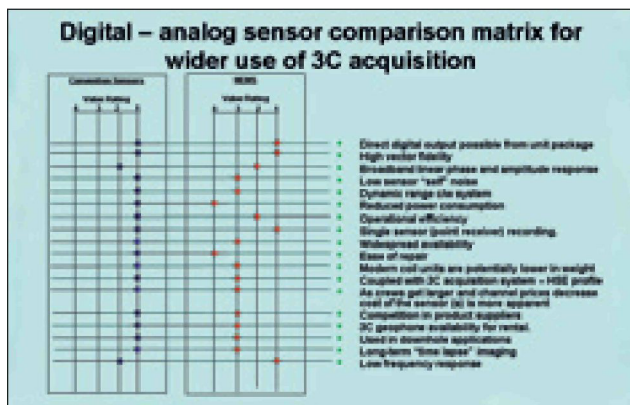
Есть примеры тому, что уникальные технические характеристики MEMS могут быть полезны при наземных работах 3С, и имеются моменты, когда присущие этой технологии недостатки кричат против такого развертывания. Аналоговые сейсмоприемники, в виде расстановок или нет, могут дать значительные преимущества в характеристиках над MEMS, обычно для V, и не такие уж устаревшие для С- и S-волн, в особенности, когда в расчет принимается весь этап разведки, включая обработку и интерпретацию.

Тем не менее, если рассматривать области, которые не так просто определить в терминах Герц, децибелов или микровольт, случай использования аналоговых приемников 3С становится даже более очевидным, если мы хотим видеть прогресс полноволновой регистрации и ее быстрый рост. Единственная единица, о которой нам надо думать – это цена в долларах, итак, коммерческие размышления включают:-

- Аналоговые приемники 3С доступны у большого числа производителей по всему миру, поэтому выбор их больше в особенности для развивающихся стран, которые могут сконструировать свои индукционные приемники, а не цифровые акселерометры.
- Аналоговые сейсмоприемники легче чинить и возможно (поскольку они не содержат активной электроники) они более надежны при долгосрочном использовании.
- Современные индукционные блоки потенциально имеют меньший вес, особенно если учесть дополнительный вес цифровых акселерометров, который вызван наличием батареи и энергетическими требованиями.
- При правильной системе регистрации, это может привести

Point Receiver	Geophone Array
● No inherent ambient noise attenuation	● Ambient noise attenuation proportional to square root of no. of geophones
● Averaging must be done in computer centre	● Statistical averaging of receiver coupling and geophone variance
● No inherent suppression of high noise	● Suppression of high noise versus low signal (up to 24dB)
● No inherent filtering	● Spatial anti-alias filter when laid out according to $\lambda/2 = \Delta x$
● Limited dynamic range	● Reduced noise, by $10 \times \log N$ dB

## Наземная сейсмозапись



к уменьшению воздействия на окружающую среду аналоговых 3С партий.

- По мере укрупнения партий и уменьшения стоимости канала, цена датчика (ов) становится важной со все возрастающей долей значимости (иногда более, чем само оборудование), не только для цены капитала партии, но также для настоящей цены выполнения работ.
- До тех пор пока не будет больше конкуренции между поставщиками цифровых датчиков, или вы не можете использовать MEMS одного производителя с оборудованием другого, которое кажется абсолютно непохожим, аналоговые приемники всегда будут самой дешевой опцией из всех возможных.
- 3С приемники обычно доступны в аренду гораздо более часто, чем полные системы MEMS, что является важным фактором для любого подрядчика наземных работ, предлагающего регистрацию V, кто получает приемное оборудование, способное выполнять 3С и хочет соревноваться на этом рынке.

Я верю, что наиболее важным преимуществом аналоговых сейсмоприемников 3С является то, что они дают возможность большому числу подрядчиков проводить работы, что делает работы менее эксклюзивными и более рутинными. Соревнования на любом рынке обычно сокращает цену этой услуги или продукта и продвигает его возможности. Подрядчики могут покупать записывающее оборудование и датчики по своему выбору и, настолько насколько система пригодна для записи трех компонент и имеет возможность перехода к большему числу каналов, этот инструмент может выполнять функции системы 3С на одних проектах, и системы высокой плотности V на других, и так далее.

Это позволяет подрядчику наилучшим образом использовать купленное оборудование, дает большую прибыль и помогает в

случае, если условия ведения бизнеса (что неизбежно) становятся менее благоприятными, в соответствии с обычным циклом бизнеса.

Итак, принимая во внимание технические и коммерческие размышления, как выглядит идеальное будущее для 3С исходя из перспектив оборудования? Группа датчиков должна иметь один 3С 'гвоздь' как часть вертикального датчика расстановки косы других вертикальных датчиков. Это дает точечный приемник для горизонтальных компонент и преимущества приемной косы для вертикальной. Эта группа приемников 3С+V предназначена для всех типов работ (берите на вооружение, компании по аренде). Просто будьте аккуратными в ориентации 3С «гвоздя» и приемников V! Если вы вдруг предпочитаете для V также точечную расстановку, то все приемники можно расположить в одном месте.

Записывающее оборудование должно писать три канала по очевидным причинам. Но какая технология имеет наилучший шанс для прогресса 3С? Была произведена оценка, что по крайней мере 50% каналов, проданных к 2010 будут бескабельными (свободными от цифровых кабелей). Этот период в три года достаточно короткий, чтобы системы, купленные сейчас учитывались, бескабельные системы являются естественным выбором в случае, если подрядчик желает иметь все шансы быть конкурентоспособным через десять лет. Бескабельные системы гораздо более легкие, более надежные, более масштабируемые, чем кабельные, и кажется, они будут иметь меньшую стоимость и при проведении работ нефтяными компаниями будут иметь все шансы если дела пойдут хуже. Правильная бескабельная система также хорошо приспособлена под 3С.

Бескабельные системы должны быть приспособленными для работ в стандартных расстановках сейсмоприемников также как и с аналоговыми приемниками 3С. В идеале, их следовало бы также уже широко попробовать в реальных полевых условиях, что ограничит риски, связанные с некоторыми новыми технологиями. Система Ultra, производимая Ascend Geo – один пример. Я верю, что если мы увидим больше таких систем, мы сможем в реальности сказать, что эра полноволновой разведки началась. Только тогда у нас может быть надежда более полно использовать преимущества картирования 3С, и кто знает, мы сможем доказать нам самим, после десятилетий надежд, что 'полноволновой метод' реально помогает найти больше углеводородов.





## Наземная сейсморазведка

### Выводы

Акселерометры MEMS несомненно бы имели применение в случае отсутствия альтернативы. Хотя, если использование полноволнового построения изображения будет расширяться, нам потребуется скорректировать перекося из-за этой, возможно слишком раскрученной, технологии и вспомнить, что аналоговые приемники 3C, возможно с группой V, используемые в коротких косах, имеют большие преимущества. Эти преимущества станут даже более очевидными, когда эти датчики будут работать с бескабельными системами непрерывной записи последнего поколения, которые могут отвечать самым разнообразным требованиям регистрации и в то же время сокращать риски воздействия на окружающую среду. Это даст нам истинную свободу разведки с тем количеством компонент, с которым мы будем в состоянии управляться.

### Благодарности

Хочу поблагодарить интернациональную группу людей за их увлеченность при работе над статьей, включая Gijs Vermeer of 3DSymsam, Larry Walter из Oyo Geospace, Bill Mitcham Jr. из Mitcham Industries, Eric von Lunen из Aspect Energy, Norm Cooper из Mustagh Resources, Vaughn Goebel из Lookout Geophysical, Paul Favret из Abundant Resources, и Bob Mulverhill из Ascend Geo, все они внесли ценный вклад в освещение различных коммерческих, технических, геофизических, и (реальных) аспектов выполнения работы, которые пытается раскрыть эта статья. В этой статье также используются диаграммы, ранее представленные в других публикациях, которые были заново нарисованы для более ясных пояснений и другим причинам.

Если графики в настоящий момент устарели в виду возможных модернизаций систем, это не очевидно, исходя из того, что я видел. В любом случае, я хочу также поблагодарить всех тех, кто построил эти графики и чьи имена мне неизвестны.

### Ссылки/Рекомендуемая литература

- Bowman, T. (2006) Rapid acquisition of small 3D seismic surveys: Urban areas within the Forthworth Basin. *SEG Annual Meeting, New Orleans*. Expanded Extract.
- Gibson, J. Burnett, R., et al. [2005] MEMS sensors: Some issues for consideration. *The Leading Edge*, August.
- Heath, R. (2005) An update on string theory, or the grand unified approach to land acquisition. *The Leading Edge*, October.
- Jack, I [2003] Land seismic technology: Where do we go from here? *First Break*, 21, 2, 41-44.
- Mougenot, D. (2004) How digital sensors compare to geophones? *SEG Annual Meeting, Dallas*. Expanded Extract.
- Mougenot, D. and Thorburn, N. [2004] MEMS-based 3C accelerometers for land seismic acquisition, is it time? *The Leading Edge*, March.
- Ongiehong, L. and Askin, H.J [1988] Towards the universal seismic acquisition technique. *First Break*, 6, 2, 46-63.
- Pelletier, K. [2006] An HS&E Perspective on the Changing Technologies in Seismic Acquisition. *CSEG Recorder*, December.
- Vermeer, G. [2004] An ambitious geometry for 3D land acquisition. *The Leading Edge*, October.