

# **MEMS с низким уровнем шума: мощное решение с одиночным датчиком для плотных широкополосных съемок**

*Николя Тэлье \* и Жером Лэн, Sercel*

## **Введение: датчики и съемки с одиночным датчиком**

В настоящее время плотность трасс широко признана ключевым фактором для повышения качества изображения и повышения точности анализа коллектора. В то же время группы сейсмоприемников последовательно уменьшаются для сохранения высокочастотного сигнала, сокращения объема полевого оборудования и упрощения полевых операций. Недавнее появление на рынке ряда моделей полевых узлов наглядно иллюстрирует эту тенденцию в отрасли. Другой сильной тенденцией в сейсмике является цифровизация, о чем свидетельствует недавнее позиционирование многочисленных игроков и обилие семинаров, организованных по этой теме. Пожалуй, это удивительно, что цифровизация датчика не оказала заметного

влияния на полевую сейсмику, где, например, аналоговые приемники продолжают оставаться стандартом. Действующая технология сейсмоприемника столетней давности имеет врожденные недостатки, которые изменяют регистрируемый сигнал. Технические характеристики (в частности, собственная частота и чувствительность) зависят от изменения температуры и старения датчика. Спецификации сейсмоприемника также предусматривают наличие производственных допусков. Достижимы более жесткие допуски, но по цене, далекой от рыночной для нефтегазовых сейсмических работ. Хотя геофоны могут по-прежнему рассматриваться как целесообразное решение при работе с группами приемников, тем не менее, кажется, пришло время пересмотреть технологию приемника, которая приведет отрасль к переходу на одиночный датчик при регистрации сейсмической информации.

## **Полная цифровая запись означает цифровую точность**

Основной альтернативой геофонам сегодня остаются цифровые сейсмические датчики на основе MEMS (микроэлектромеханические системы). В отличие от геофонов, чей отклик затухает ниже их собственной частоты и искажается выше их паразитной частоты, датчики MEMS предлагают линейные и плоские амплитудные и фазовые отклики в диапазоне от постоянного тока до 800 Гц в домене ускорения. На их характеристики не влияют ни температура, ни старение или производственные допуски, благодаря чему сигнал записывается точно, как по фазе, так и по амплитуде, во всей целевой полосе частот сейсмического сигнала. Необходимость сохранения амплитуд датчиками общепризнана при применении процедур анализа AVO (Shi 2009, Mougenot 2014). Отсутствие в конструкции электромагнитной катушки делает датчик нечувствительным к электромагнитным помехам, а искажения датчика (-90 дБ) значительно ниже, чем у геофонов (-62 дБ). С

момента их появления в начале 2000-ых, датчики MEMS нашли применение в самых разных областях, например, при идентификации тонкослоистого газового коллектора (благодаря сохранению дальних выносов для AVO), выявлении трудноизвлекаемых запасов нефти (благодаря стабильности фазы), высоко-разрешенные съемки ВЧР (для оптимизации расстановок и сохранения высокочастотной части сигнала). Расширяя достоверность всего цифрового тракта записи, датчики MEMS являются хорошими кандидатами для решения проблем отрасли в части полной цифровизации процесса регистрации данных, а также реализации съемок высокой плотности и съемок с одиночными приемниками.

## **Возможности MEMS в регистрации НЧ сигнала: решена последняя проблема**

Предыдущее поколение датчиков MEMS (уровень шума  $40-45 \text{ нГ}/\sqrt{\text{Гц}}$  @ 10-200 Гц) страдало от значительного увеличения шума аппаратуры в области низких частот, что искажало запись сигнала в зоне ниже 3-4 Гц.

Последнее поколение MEMS (уровень шума около  $15 \text{ нг}/\sqrt{\text{Гц}}$  @ 10-200 Гц, Lainé 2014) преодолевает это ограничение. Недавно было показано, что одиночный приемник способен обнаруживать землетрясение магнитудой 7 баллов на расстоянии 4000 км с регистрацией сейсмических данных в полосе частот 0.02-5 Гц (Fougerat 2018).

### **3С регистрация и векторная точность**

3С съемка имеет доказанный послужной список успеха в сложных геологических условиях. Анализ трещин и анизотропии может быть улучшен (с помощью расщепления волны), лучше идентифицирована литология (с помощью совместной инверсии PP и PS данных), точно восстановлено поле P-волн (в случае геологии с крутыми падениями или трудной топографии), визуализация может выполняться под газовыми шапками, прямой сбор дополнительных сейсмических атрибутов (коэффициент Пуассона, плотность трещин...). 3С съемка кажется менее актуальной после спада в отрасли, тем не менее некоторые

нефтегазовые компании прогнозируют ее широкое признание в будущем, при условии, что стоимость этих дополнительных данных останется разумной, а «культура 3С» будет принята на всех уровнях отрасли. Для этих типов съемок MEMS уже давно являются предпочтительными по сравнению с аналоговыми трифонами. С эксплуатационной точки зрения канал 3С MEMS является всенаправленным и компактным, и устраняет потенциальные ошибки при подключении геофонов к трем АЦП. Один и тот же датчик можно использовать для трех компонентов, в то время как геофоны должны компенсироваться гравитацией при работе в горизонтальном положении. Крошечный размер MEMS дает возможность использовать форм-фактор небольшого корпуса, что позволяет эффективно подавлять паразитные сигналы, такие как повороты, вызванные поверхностной волной. Компактность датчика 3С также способствует оптимальному сцеплению с землей - первостепенному фактору для корректной записи горизонтальных компонент.

Еще одно важное преимущество 3С MEMS заключается в превосходной векторной точности при сейсмических измерениях. Действительно, хорошие MEMS-акселерометры оснащены петлей обратной связи, которая позволяет измерять статические сигналы (DC / 0 Гц), такие как гравитация Земли. Благодаря этой функции и в отличие от 3С геофонов, 3С MEMS-датчики могут быть легко откалиброваны на заводе с использованием очень точного эталона гравитационного ускорения, и, следовательно, допуски на ортогональность трех осей могут быть скомпенсированы. Аналогично, наклон установки датчика может быть измерен и компенсирован в поле. В результате датчики 3С MEMS с возможностью измерения постоянного тока демонстрируют гораздо лучшую точность с точки зрения векторной достоверности: ускорение грунта измеряется с очень точным разделением горизонтальных и вертикальных компонент, а также с истинными амплитудами и временными интервалами. Высокоточные данные, записанные таким путем, позволяют проводить тщательный анализ анизотропии.

## **Вывод: готова ли отрасль к MEMS?**

Представляется, что выпуск MEMS в начале 2000-х, возможно, был преждевременным. В то время технические характеристики датчиков (Tellier 2017) были плохо изучены. Цена плотной расстановки цифровых датчиков не могла конкурировать с более разреженной расстановкой обычных групп геофонов. Однако в наше время цифровой канал является ценовым конкурентом комбинации «одиночный геофон / АЦП». Та же тенденция наблюдается в отношении энергопотребления, которое в настоящее время ниже для цифровых расстановок. Полный цифровой тракт записи обеспечивает регистрацию сейсмического сигнала высокой точности, особенно когда применяются одиночный источник / одиночный приемник и/или запись смешанных данных (например, по методике «свободный вибратор»). В этом случае данные чрезвычайно зашумлены. Полная цифровизация тракта записи обеспечивает привлекательную платформу для промышленного перехода к

съемкам с более высокой плотностью регистрируемых трасс, и к сбору данных с одиночными приемниками.

## **Библиография**

Fougerat, A., Guérineau, L. and Tellier, N. [2018]. High-quality signal recording down to 0.001 Hz with standard MEMS accelerometers. *88<sup>th</sup> SEG annual meeting*, expanded abstract.

Lainé, J. and Mougnot, D. [2014] A high-sensitivity MEMS-based accelerometer. *The Leading Edge*, **33**, 1234-1242.

Lv S., and Mougnot, D. [2013] Do digital sensors preserve amplitude better? *Geohorizons* 18/2.

Shi, S., Du, Y., Zhang, M., Cheng, S., Gan, L. et al. [2009] Seismic acquisition with digital point receivers and prestack reservoir characterization of China's Sulige gas field. *The Leading Edge*, **28**, 324-331

Tellier N. and J. Lainé, [2017] Understanding MEMS-based digital seismic sensors. *First Break*, 35/1, 93-100.