

# Распределенные акустические сейсмические системы при работах ВСП

М.Б. Шнеерсон

д.т.н., профессор  
shneer@bk.ru

МГРИ, РГУ нефти и газа, Москва, Россия

**Распределенные оптоволоконные системы (Distributed acoustic sensing, DAS) с 2012 г. применяются при проведении скважинных сейсмических наблюдениях (ВСП и др.) и в настоящее время получают все большее применение. Практика работ показывает, что эффективность этих систем определяется тем, что при положительном качестве получаемых записей они позволяют одновременно принимать и регистрировать колебания по всей длине оптоволоконного кабеля, что исключает необходимость перемещения по стволу скважины одиночных или гирлянд сейсмоприемников, минимизируют (возможно до одного) число необходимых воздействий и не чувствительны к внешним электрическим и магнитным полям. Эти особенности оптоволоконных систем определяют значительные перспективы их применения. Работы с оптоволоконными системами пока еще носят опытно-методический характер и ориентированы на разработку и оптимизацию технологии и оценку разведочных возможностей новых систем в общем комплексе скважинных исследований.**

## Материалы и методы

В статье по материалам зарубежных публикаций приведены результаты применения в скважинной сейсморазведке оптоволоконных распределенных систем.

## Ключевые слова

распределенные оптоволоконные системы, скважинная сейсморазведка, ВСП, сейсмоприемник, прием, колебания

Применению и внедрению новых технических средств всегда предшествует их сравнение с существующими, применяемыми устройствами. Распределенные оптоволоконные приемные системы не являются исключением.

Сравнение вибрационных записей Р- и S-волн, зарегистрированных стандартными сейсмоприемниками и распределенными акустическими датчиками, было проведено по материалам ВСП в одной вертикально-наклонной скважине в Техасе, США [1]. Стандартные записи были получены с шагом 15,24 м в пределах только вертикальной части скважины (3000 м), а приборами DAS через 1 м по всему стволу скважины (4524 м). Возбуждение колебаний проводилось на поверхности на удалениях 104, 762 и 1524 м, что позволило зарегистрировать Р- и S-волны. На рис. 1 приведены результаты сравнения записей, полученных в пределах вертикального ствола скважины. Сопоставление полученных материалов показало, что по качеству записей, прослеживаемости регулярных волн, амплитудам и наклонам осей синфазностей они практически идентичны материалам, зарегистрированным стандартными сейсмоприемниками, что подтверждает результаты предыдущих сравнений и определяет дальнейшее во все возрастающих объемах применение новых систем при работах ВСП.

При работах с распределенными системами важно определение глубины погружения кабеля. В [2] приведено описание четырех способов определения глубины погружения приемной распределенной системы. Для их оценки был создан простой тест, состоящий из отрезков кабеля различной длины. Самый простой способ калибровки может быть применен, когда известно положение конца кабеля, и он предусматривает определение времени регистрации обратно рассеянных волн.

Способы калибровки, основанные на заморозке (freeze) кабеля и применении погруженного источника колебаний, предусматривают выделение максимума (пика) амплитуд, что осложняется «размазанностью» импульса, определяемой длиной измерительного отрезка кабеля. Анализ полученных материалов показал, что способы, основанные на знании конца кабеля и его «заморозки», могут применяться при непрерывных и повторных наблюдениях, в то время как использование способа «погружного источника» наиболее эффективно при непрерывных инсталляциях.

В оптоволоконных приемных системах давление на кабель измеряется не в точке, а на определенном его участке, что приводит к зависимости выходных данных от протяженности кабеля и ширины исходного импульса. В [3] обсуждаются результаты скважинных наблюдений с оптоволоконным кабелем по оптимизации относительной ширины лазерного импульса, из которых следует, что его ширина оказывает существенное влияние на качество и спектральный состав получаемых сейсмических записей.

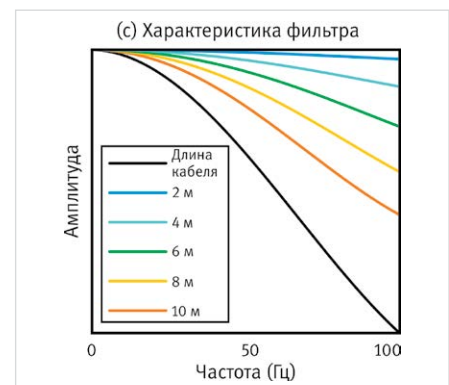


Рис. 2 — Влияние длины кабеля на полосу пропускания фильтра

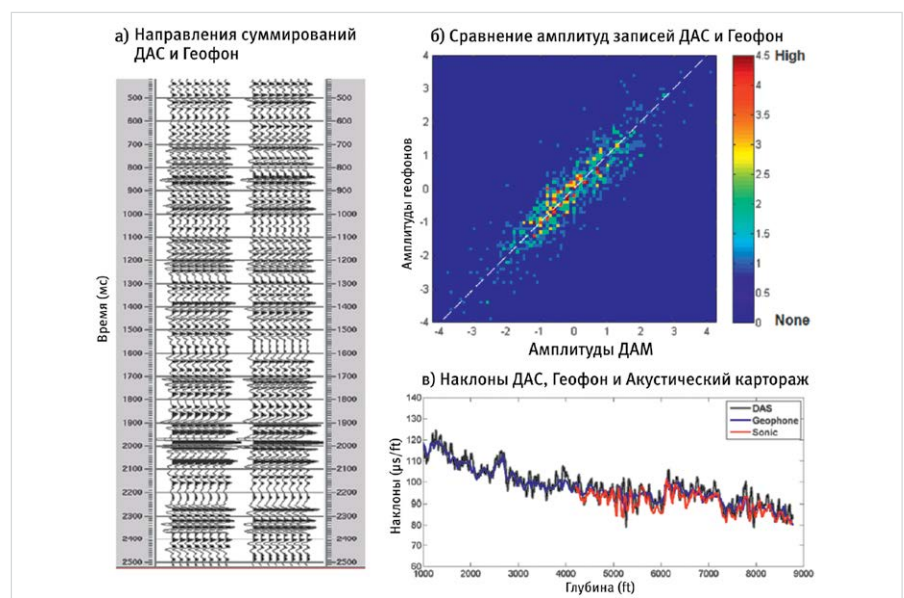


Рис. 1 — Сравнение записей, амплитуд волн и их изменения с глубиной полученных сейсмоприемниками и приборами DAS

Приемная система работает как низкочастотный фильтр, полоса пропускания которого уменьшается с увеличением протяженности измерительного участка кабеля (рис. 2). Влияние ширины импульса оценивалось по лабораторным измерениям, выполненным с секцией оптико-волоконного кабеля на частотах до 100 Гц. Было установлено, что влияние ширины импульса становится заметным, когда его ширина превышает половину протяженности измерительной линии.

### Примеры применения распределенных оптико-волоконных систем

Одним из важных направлений скважинных работ является определение средних скоростей по вертикальному лучу, т.е. при нулевых выносах пункта возбуждения от устья скважины. В [4] рассматривается возможность использования распределенных акустических систем при работах ВСП на нулевых выносах. В основу анализа положена теорема дискретизации и ее приложения к точности пикирования первых вступлений, определения скоростей и суммирования волн по вертикали (corridor stack). На основании модельных расчетов и сопоставления с материалами стандартных наблюдений в работе положительно оцениваются перспективы применения распределенных акустических систем при работах ВСП на нулевых выносах. В обоснование этого тезиса приведены кривые, графики и записи волн, иллюстрирующие величины погрешностей определения пластовых

скоростей и надежность прослеживания волн в первых вступлениях в зависимости от интервала дискретизации.

В [5] приведены результаты обработки материалов 3D ВСП с распределенными системами, полученными в двух близко расположенных скважинах (dual-well), на месторождении Valhall в Северном море. Скважинные работы проводились одновременно с площадными сейсмическими работами с донными приемными устройствами, что позволило использовать единые пункты возбуждения. Всего было задействовано 60000 пунктов возбуждения, которые располагались по сетке 50x50 м на площади размером 10 на 20 км. Обе скважины были практически вертикальными в верхней части и наклонными на глубине. В скважине 1 по стволу было размещено 1200 приемных пунктов, а в скважине 2 — 1745. Первичные записи были довольно зашумленными, но последующая фильтрация колебаний позволила с различной степенью уверенности выделить распространяющиеся вниз волны (рис. 3). Обработка материалов предусматривала преппроцессинг, восстановление амплитуд, деконволюцию, выделение распространяющихся вверх и вниз волн и миграцию. После обработки на монтажах волновых картин уверенно выделяются волны, распространяющиеся вверх и вниз. Построенные изображения были успешно смонтированы в разрезы, полученные с донными приемными устройствами (рис. 4). В заключении отмечается, что технология DAS может быть

успешно использована для получения достоверительных подземных изображений и проведения съемок 3D ВСП в эксплуатационных и инжекторных скважинах. Это определяет экономическую эффективность технологии.

Другой пример успешного применения распределенных систем приведен в [6]. Работы были проведены в эксплуатационной скважине (северо-восточный район Китая) для оценки скоростных и анизотропных параметров среды с последующим использованием этих данных при обработке материалов наземной сейсморазведки, а также для определения эффективности оптико-волоконных систем при наблюдениях ВСП. Волны возбуждались 4-х килограммовыми зарядами динамита, которые располагались по двум взаимно перпендикулярным линиям и вокруг скважины по трем профилям, и регистрировались двумя оптико-волоконными кабелями, опущенными в скважину от поверхности до забоя (рис. 5). Колебания принимались с шагом 0,25 м по глубине и 1 мс по времени. Всего было отработано 366 пунктов возбуждения за 5 рабочих дней. Полученные первичные записи были трансформированы в формат SEG 4, что позволило провести их обработку и получить временные разрезы, которые не только хорошо совпали с материалами поверхностных работ, но оказались более разрешенными и детальными (рис. 6). Полученные результаты открывают широкие перспективы применения оптико-волоконных систем при скважинных работах в

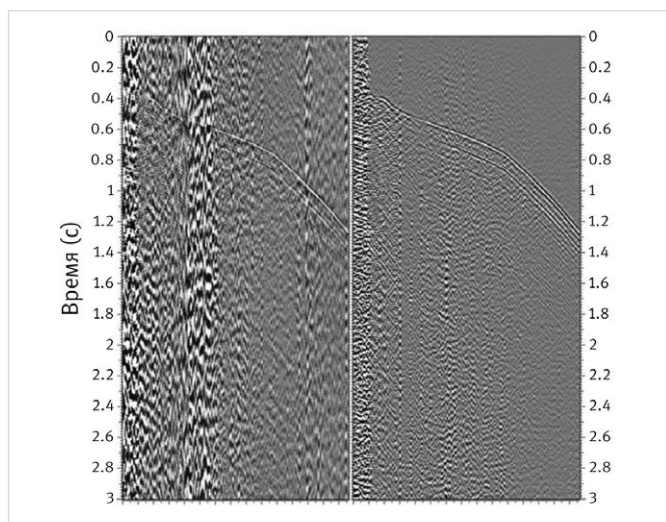


Рис. 3 — Записи волн в скважине до (слева) и после (справа) подавления помех

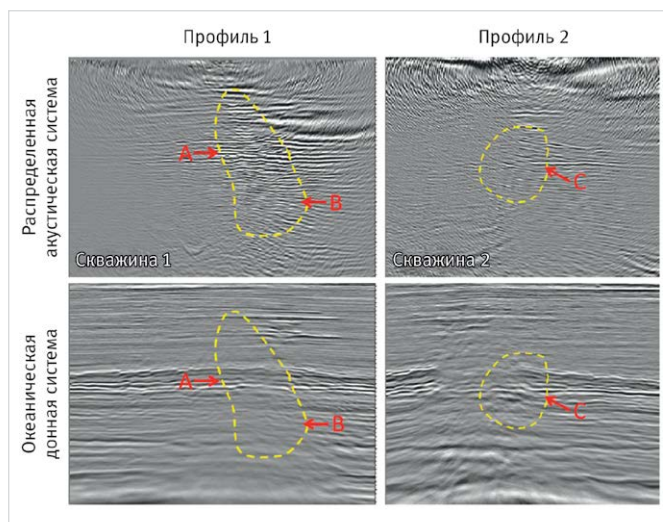


Рис. 4 — Построения DAS (в желтом контуре), смонтированные в разрезы 3D

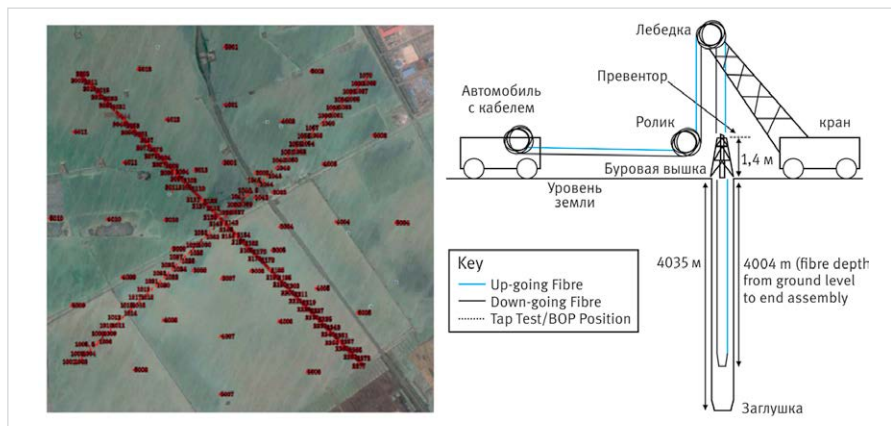


Рис. 5 — Схема расположения пунктов возбуждения (слева) и технологии проведения работ (справа)

северо-восточных районах Китая.

Возможности существенного повышения качества записей при проведении скважинных работ с применением волоконных приемных систем рассмотрены в [7]. Они основываются на зависимости амплитуд импульсов от частоты их следования и предусматривают разделение исходной посылки на несколько потоков, распространяющихся по разным траекториям, что приводит к появлению фазовых различий между ними. Последующее суммирование записей приводит к снижению уровня шумовых сигналов и повышению относительной интенсивности целевых волн. На рис. 7 приведены материалы скважинных наблюдений, иллюстрирующие повышение качества многочастотных записей и указывающие на положительные перспективы применения этого направления работ с оптико-волоконными

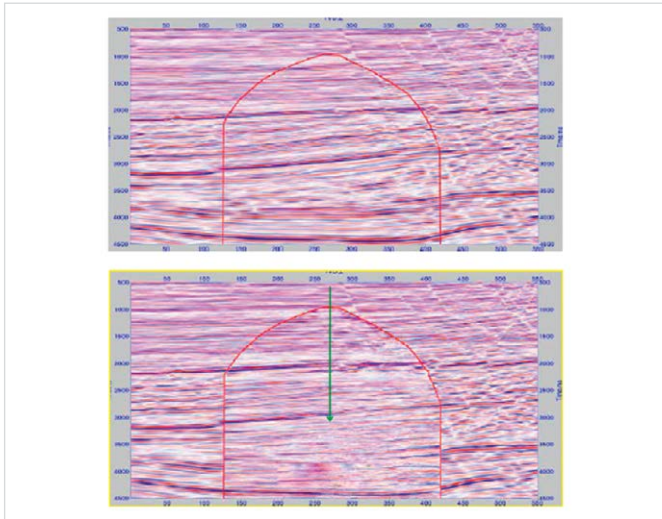


Рис. 6 — Сейсмический профиль: слева — стандартный и справа — с вмонтированными данными ВСП DAS (в красном контуре)

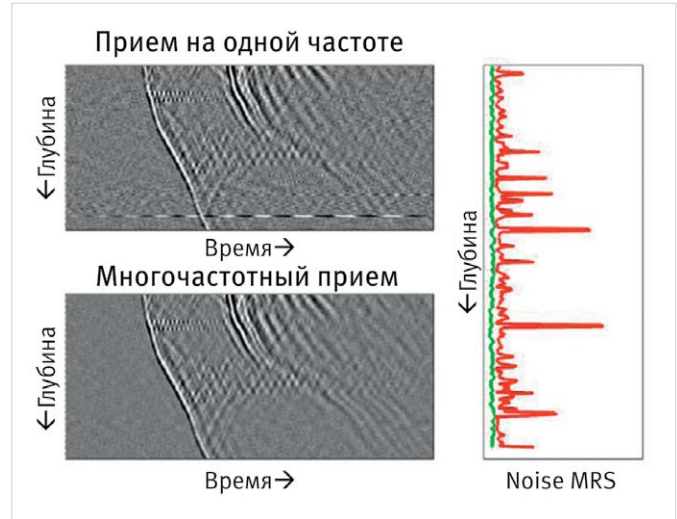


Рис. 7 — Повышение качества записей (слева) и снижение уровня шумов (справа) при сложении записей на нескольких частотах (зеленая кривая)

приемными системами.

### Итоги

Обзор публикаций по применению оптико-волоконных приемных систем при наблюдениях ВСП показал следующее:

- сейсмические материалы с новыми и стандартными приемными устройствами идентичны по качеству;

- предложены способы определения глубины погружения кабеля;
- применение оптико-волоконных систем возможно и эффективно при одномерных и пространственных съемках 3D ВСП в эксплуатационных и инжекторных скважинах;
- суммирование многочастотных залежей повышает отношение сигнал/помеха и качество материалов.

### Выводы

Оптико-волоконные распределенные приемные системы позволяют существенно упростить проведение скважинных сейсмических работ и снизить их стоимость без снижения качества получаемых материалов. Внедрение этой технологии в производство позволит расширить объемы скважинной сейсморазведки и повысить ее эффективность.

ENGLISH

GEOPHYSICS

## Distributed acoustic seismic systems in VSP acquisitions

UDC 550.3

### Author:

Mikhail B. Shneerson — Sc.D., professor; [shneer@bk.ru](mailto:shneer@bk.ru)

MGPI, RSU oil and gas, Moscow, Russian Federation

### Abstract

Distributed acoustic sensing (DAS) has wide acceptance in well's seismic prospecting since 2012. Practice work shows that these systems are effective. The records have positive quality and they allow you to simultaneously receive and record vibrations along the entire length of fiber-optic cable, which eliminates the need to navigate through the borehole of single or strings of geophones, minimize quantity of required affectings and them not sensitive to external electric and magnetic fields. These features of fiber-optic systems determine considerable prospects for their application. Application of fiber-optic systems are still experimental and methodological in nature and focused on the development and optimization of technologies of exploration and evaluation

capabilities of new systems in the whole complex of borehole research.

### Materials and methods

The article presents the results of application in borehole seismic fiber-optic distributed systems based on foreign publications.

### Results

The review of publications about application the of fiber-optic systems in vertical seismic profiling revealed:

- seismic materials with new and conventional receivers have identical quality;
- methods for determining the depth of immersion cable are considered;
- the using of fiber-optic systems is possible and effective in one-dimensional and three-dimensional shooting VSP in operational

and injection wells;

- summing of multifrequent increases the signal to noise ratio and the quality of materials.

### Conclusions

The application of fiber-optic distributed receiving system provides opportunity to significantly simplify the borehole seismic works and cut their costs without reducing the quality of the materials. The introduction of this technology into production will expand the volume of borehole seismic and increase its effectiveness.

### Keywords

distributed fiber optic system, borehole seismic survey, VSP geophone, reception, fluctuations

### References

- Calibration of distributed acoustic sensing (DAS) VSP data, M.E. Willis, A. Ellmauthaler, X. Wu, D. Bardfoot, C. Erdemir, O.A. Barrios-Lopez, D. Quinn, S. Shaw, Expandent Abstracts, EAGE, 2016.
- Depth calibration of fibre-optic distributed vibration sensing measurement, T. Dean, T. Cuny, A. Constantinou, P. Dickenson, C. Smith, E. Hamouche, Expandent Abstracts, EAGE, 2016.
- The effects of pulse width on fibre-optic distributed vibration sensing data, T. Dean, A. Hartog, T. Cuny, F. English, Expandent Abstracts, EAGE, 2016.
- Is there value in highly spatially sampled zero-offset vertical seismic profiles?, T. Dean, M. Clark, T. Cuny, J. Puech, Expandent Abstracts, EAGE, 2016.
- Learnings from distributed acoustic sensing data processing for seismic applications – a case study from the North Sea, T. Hance, T. Jiang, G. Zhan, E. Kjos, R. Geetan, S. Soulas, I. Thomas, Expandent Abstracts, EAGE, 2016.
- Walkaway VSP using multimode optical fibres in a hybrid wireline, G.Yu, Y.Z.Chen, X.M. Wang, O.H. Zhang, Y.P. Li, B. Y. Zhao, J.J. Wu, J. Greer, Expandent Abstracts, EAGE, 2016.
- The use of multi-frequency acquisition to significantly improve the quality of fibre-optic distributed vibration sensing, A. Hartog, L.B. Liokumovich, N.A. Ushakov, O.I. Kotov, T. Dean, T. Cuny, A. onstantinou, Expandent Abstracts, EAGE, 2016.