



ИФЗ·РАН

Распределенное акустическое зондирование (DAS): на пути к стандартизации

В.В. Гравиров^{1,2}, К.В. Кислов²



¹ Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

² Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, г. Москва, Россия



Распределенное акустическое зондирование (DAS): на пути к стандартизации

Распределенное акустическое зондирование (DAS) сегодня переживает экспоненциальный рост своего применения и развития. Следует отметить, что тем не менее существуют некоторые трудности в применении этой технологии для решения сейсмологических задач, однако основным препятствием является их недостаточная метрологическая стандартизация. Так, для каждого виртуального датчика (канала) требуется проводить большой объем работ по определению его положения, ориентации, передаточной функции и собственного шума и т. д. Конечно, часть метрологических характеристик можно оценить заранее, если известен тип кабеля, глубина и способ его прокладки, тип грунта и его уплотнение, а также местные условия в зоне прокладки кабеля. Естественно, необходимо проведение дополнительных исследований по влиянию этих параметров на метрологические характеристики систем базирующихся на технологии DAS.



Распределенное акустическое зондирование (DAS): на пути к стандартизации

Типичные параметры наиболее часто используемых распределенных датчиков.

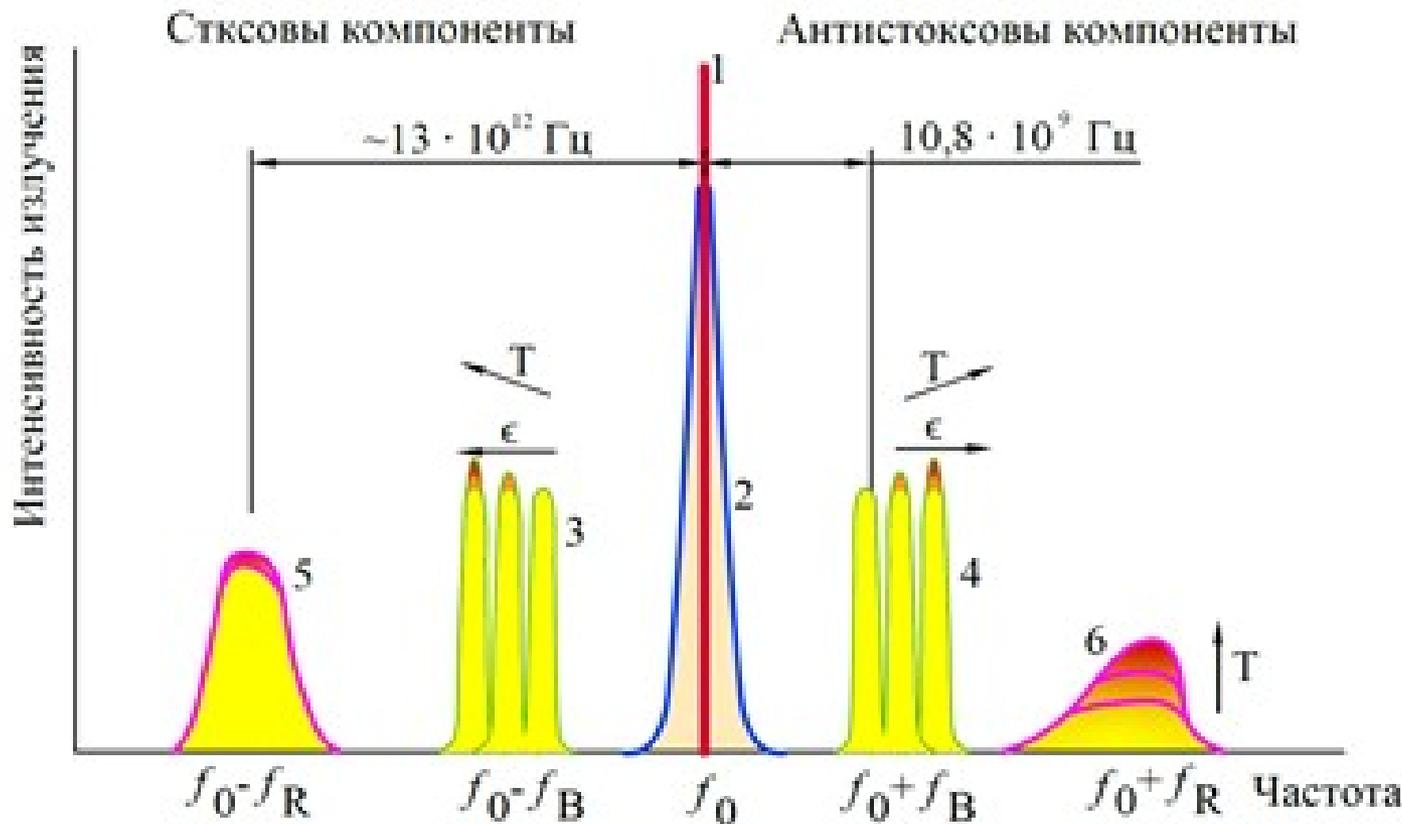
Излучение лазера	1550 нм
Длительность импульса	100-400 нс
Длина засветки волокна	10-40 м
Частота импульсов	0.2-10 кГц
Измерительная длина GL	10 м
Рабочая длина волокна	до 50 км



ИФЗ



Распределенное акустическое зондирование (DAS): на пути к стандартизации



Спектры рассеяния света в оптических волокнах с учетом влияния температуры (Т) и деформации (ε): 1 - излучение лазера на входе; 2 - рассеяние Рэля; 3, 4 - стоксовы и антистоксовы линии рассеяния Мандельштама — Бриллюэна; 5, 6 - стоксовы и антистоксовы линии комбинационного рассеяния света

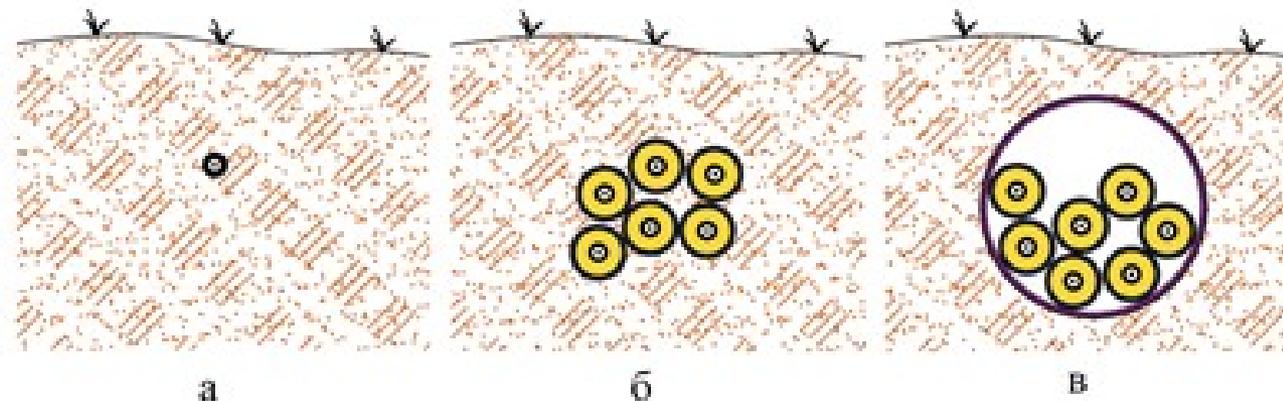


ИФЗ.



Распределенное акустическое зондирование (DAS): на пути к стандартизации

Первоначально предполагали, что зная характеристики оптоволоконного кабеля, свойства грунта и условия прокладки кабеля, можно априорно оценить некоторые основные метрологические характеристики системы DAS, такие как передаточная функция, уровень шума и т. д. Это позволило бы в полной мере использовать данные DAS сразу после подключения оборудования к оптоволоконной линии связи в режиме реального времени. Но к сожалению, практика доказала, что это зачастую не совсем так.



Некоторые способы подземной прокладки оптических кабелей:

а - заглубление кабеля в грунт;

б - закапывание в ПВХ трубе, диаметром около 6 см, заполненной гидрофобным гелем;

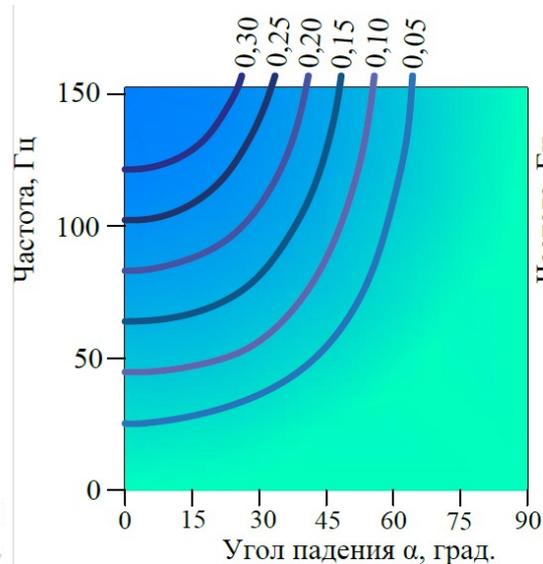
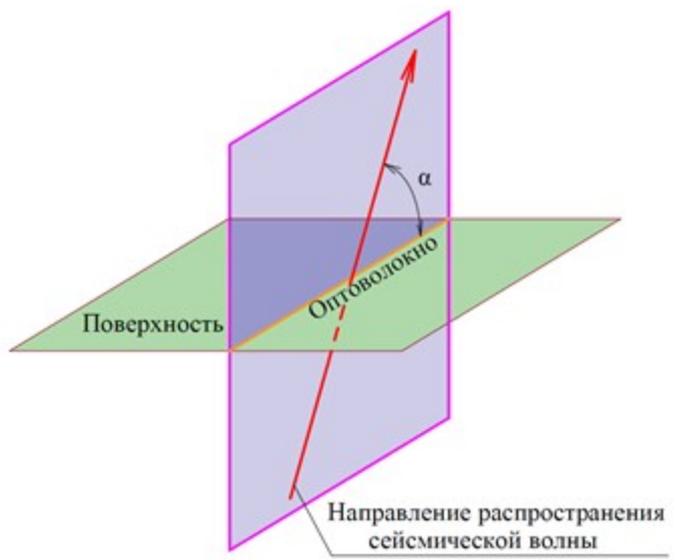
в - объединение нескольких труб в общей кассете



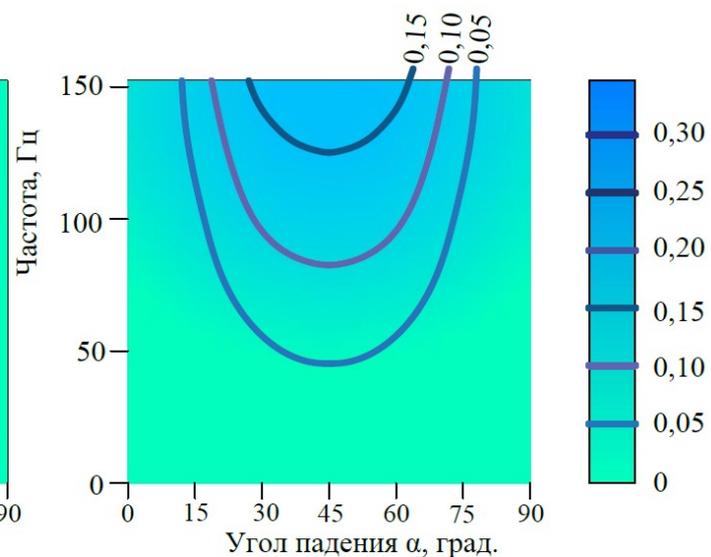
ИФЗ.



Распределенное акустическое зондирование (DAS): на пути к стандартизации



а



б

Амплитуда сигнала виртуального датчика в зависимости от угла падения и частоты сигнала: а – для P-волны; б – для S-волны. При расчетах сейсмические волны считались плоскими, измерительная длина $GL = 10$ м, скорость P-волны $V_p = 2500$ м/с, скорость S-волны $V_s = 1560$ м/с.



ИФЗ.



Распределенное акустическое зондирование (DAS): на пути к стандартизации

Преимущества DAS

- низкая стоимость; широкая распространенность материалов
- организация массивов сейсмических пунктов большой протяженности
- высокое пространственное разрешение
- можно выбрать пространственную дискретизацию
- широкий частотный диапазон, от 0,001 Гц до 10 кГц
- динамический диапазон более 120 дБ
- возможность использования уже существующих волоконно-оптических сетей
- быстрое развертывание с минимальным подключением нового оборудования
- требуется один блок опроса, расположенный на одном конце волокна
- отсутствует проблема временной синхронизации между виртуальными датчиками
- не нужны индивидуальные источники питания датчиков и их обслуживание
- надежность, прочность, долговечность, коррозионная стойкость, малый размер и вес
- возможность непрерывной работы
- можно легко развернуть даже в самых суровых и самых необычных условиях, в том числе организация плотной сейсмической сети в мегаполисе
- нечувствительность к электромагнитным полям
- широкий рабочий диапазон температур $60 \div 250$ град С, а также давление до 180 МПа;



ИФЗ.



Распределенное акустическое зондирование (DAS): на пути к стандартизации

Недостатки DAS

- работает на кабелях ограниченной длины
- регистрирует только однокомпонентную осевую деформацию оптоволокна
- кабели обычно не проходят по прямой линии, т.е. направление чувствительности от одного виртуального датчика к другому может существенно меняться
- отношение SNR разных участков кабеля разное
- более высокий уровень шума, чем у обычных широкополосных сейсмометров
- существующие кабели связи обычно проложены в местах с повышенным уровнем шума шумным местам
- связь между кабелем и грунтом может отличаться по длине кабеля
- неопределенность глубины заложения кабеля
- собственный шум в настоящее время строго не оценивался
- расположение и ориентация виртуальных датчиков трудноопределима, особенно на ранее проложенных кабелях
- трудность оценки магнитуды и фокусного механизма
- трудность определения оптимальной длины виртуального датчика
- присутствует дополнительная погрешность (чувствительность к изменениям температуры, влажности, давления, внешних нагрузок, промерзания/оттаивания и т.д.)



ИФЗ.



Распределенное акустическое зондирование (DAS): на пути к стандартизации

Текущие Метаданные

- **Общие данные**
- **Параметры оптоволокна**
- **Данные интеррогатора**
- **Параметры данных**



ИФЗ.



Распределенное акустическое зондирование (DAS): на пути к стандартизации

Текущие Метаданные

- **Общие данные**



- **Параметры оптоволокна**

- **Данные интеррогатора**

- **Параметры данных**

- название системы
- географическое положение
- постоянная / временная
- количество интеррогаторов
- доп. информация



ИФЗ.



Распределенное акустическое зондирование (DAS): на пути к стандартизации

Текущие Метаданные

- **Общие данные**
- **Параметры оптоволокна** →
 - модель оптоволокна
 - одномодовое /многомодовое
 - коэффициент преломления
 - затухание [дБ/км]
 - линейное /спиральное (угол намотки)
 - время прокладки и удаление кабеля
- **Данные интеррогатора**
 - тип кабеля: буферизованный / бронированный / наполненный гелем / др.
 - прокладка: траншея / трубопровод / обсадная труба / др.
- **Параметры данных**
 - список координат кабеля
 - список координат разъемов
 - способ определения координат
 - место начала измерительного участка
 - место конца измерительного участка
 - общая длина волокна
 - доп. информация



ИФЗ.



Распределенное акустическое зондирование (DAS): на пути к стандартизации

Текущие Метаданные

- **Общие данные**
 - **Параметры оптоволокна**
 - **Данные интеррогатора** 
 - **Параметры данных**
- идентификатор
 - производитель
 - модель
 - режим измерений: условные единицы / деформация / скорость деформации / др.
 - доп. информация



ИФЗ.



Распределенное акустическое зондирование (DAS): на пути к стандартизации

Текущие Метаданные

- **Общие данные**
 - **Параметры оптоволокна**
 - **Данные интеррогатора**
 - **Параметры данных** 
- идентификатор
 - дата начала сбора данных
 - дата окончания сбора данных
 - частота выборки
 - частота повторения импульсов
 - ширина импульса
 - измерительная длина (Gauge length)
 - количество каналов в архивном наборе
 - расстояние между каналами вдоль кабеля
 - доп. информация



Распределенное акустическое зондирование (DAS): на пути к стандартизации

Выводы

Помимо привычного для сейсмологов ослабления сейсмического сигнала с расстоянием, в DAS надо учитывать угол падения его на волокно и изменение частотного состава. Более низкие частоты ослабляются из-за меньшей разницы в сигналах в крайних точках измерительной длины. При перпендикулярном падении волны на оптоволоконный кабель (угол падения 90°) реакция DAS отсутствует, так как в этом случае нет относительного движения между концами измерительной длины. Это особенно важно для волн от очень дальних землетрясений — телесеismicких Р-волн, поскольку они распространяются почти вертикально поверхности.



Распределенное акустическое зондирование (DAS): на пути к стандартизации

Выводы

Для того чтобы данные DAS можно было корректно использовать, необходимо точно установить метрологические характеристики методов измерений и отдельных виртуальных датчиков (или линий DAS в целом). Таким образом, метрологические характеристики будут определять и достоверно описывать результат измерений и возникающие при этом погрешности. Кроме этого они также могут обеспечить контроль используемых средств измерений.



ИФЗ.



Распределенное акустическое зондирование (DAS): на пути к стандартизации

Спасибо за внимание