

Сейсмические приборы для прямой установки в грунт: преимущества и области применения

Аннотация

По типу установки сейсмометры принято разделять на классические, сконструированные для размещения на постаментах в оборудованных шахтах, и скважинные – для установки в глубоких обсаженных скважинах. Классические широкополосные прецизионные сейсмометры требуют больших затрат для строительства шахт или подвалов, возведения массивных постаментов и обеспечения необходимого температурного режима помещений. Скважины общепринято считаются самой тихой средой для инструментов с низким уровнем собственного шума, однако приборы со скважинным замком дороже классических сейсмометров, их установка сопряжена с существенными затратами на бурение и подготовку скважины. Промежуточным вариантом установки является прямая установка сейсмических инструментов в грунт, а также в неглубокие обсаженные и необсаженные скважины. Существуют отдельные сейсмометры различных производителей, которые могут быть установлены подобным образом, однако только компания Nanometrics Inc. (Канада) имеет специально разработанную полную линейку данных приборов для прямой установки в грунт (Posthole): от форс-балансных акселерометров до лучших сверширокополосных сейсмометров для глобальной сейсмической сети – Trillium 360 секунд. Приборы данного исполнения имеют преимущества как классических, так и скважинных сейсмометров: они выполнены в прочных водонепроницаемых корпусах из нержавеющей стали с классом защиты IP68, могут работать на глубинах до 300 метров, поддерживают автоматическое центрирование при углах отклонения от вертикали до 5 – 10 градусов, не используют дорогие скважинные замки, а среда установки сама обеспечивает максимальную фиксацию и температурную стабилизацию. Среди этих приборов существуют и уникальные модели, в частности, универсальный Horizon подходит также для установки на постаменте, а комбинированный инструмент Cascadia (широкополосный сейсмометр и акселерометр) обеспечивает суммарный динамический диапазон в 200 дБ и гарантирует регистрацию как слабых, так и сильных сейсмических событий.

Недостатки ряда современных широкополосных сейсмометров

- Большинство таких приборов предназначено для установки в термостабильных шахтах на массивных постаментах, сооружение которых во многих случаях является серьезным ограничением!
- Другие недостатки:
- Корпуса и разъемы сделаны из корродируемых материалов
 - Корпуса недостаточно прочные, чтобы нивелировать изменения атмосферного давления
 - Корпуса не рассчитаны на давление при погружении прибора в воду или при контакте с такими материалами, как песок или грунт
 - Корпуса не имеют магнитного экранирования, и не защищены от влияния магнитного поля Земли
 - Ограниченная стойкость к низким температурам и к температурным градиентам
 - Небольшие максимально допустимые углы наклонов и динамический диапазон, недостаточный для зон сильных землетрясений
 - Большинство сейсмометров невозможно разместить в малых скважинах (<150 мм в диаметре)
 - Большинство датчиков не обладают “умным” интерфейсом, имеют только аналоговый выход
 - Большинство имеют плохую защиту от нестабильного напряжения питания
 - Большинство датчиков спроектированы как отдельный прибор, а не полностью интегрированная часть сейсмической станции
 - Большинство сейсмометров не может предоставлять свой детальный статус, метаданные, характеристики и идентификаторы
 - Имеют ограниченную поддержку производителей

Обсуждение – Задачи сейсмологии усложнились, сообщество пользователей возросло, в ряде стран сейсмологи получили значительную поддержку фондов. При этом разработка инструментов отстает во времени, и ученые были вынуждены применять импровизированные решения по размещению приборов в более широких диапазонах условий и большим количеством. Однако производители работают над улучшением конструкции инструментов для предоставления пользователям больших возможностей и для снижения стоимости установки и обслуживания при разных условиях мест установки

Оборудование мест временной установки классических широкополосных сейсмометров

Скважинные инструменты для прямой установки в грунт, использующие пробуренные отверстия

Синий цилиндр – это импровизированный герметичный корпус для инструмента

STS-2 с GSN защитой

Фото предоставлено с любезного согласия Neil Ziegelman, Albuquerque Seismological Laboratory

Эволюция временных станций U.S. Transportable Array

Все рисунки, фотографии и данные взяты из IRIS Web Services

Конструкция укрытия, использовавшаяся первые 8 лет. Многие инструменты оказались затоплены

Схема станции на Аляске с использованием скважинных датчиков. Данный вариант оборудования значительно понизил порог шума горизонтальных компонент сигнала

Станция F25K Christian River, AK, США, Датчик T120PH

Опции установки датчиков posthole: в яме, в скважине (любой), во льду, в снегу!

От временных установок до стационарных станций...

Установка в грунт с закапыванием датчика (1-3 м)

Компактная скважина PVC труба с закапыванием датчика (2-10 м)

Неглубокая скважина PVC труба с закапыванием датчика (2-10 м)

Глубокая скважина Обсаженная скважина (30-300 м)

Антенна

Солнечная панель

Витая пара

Коробка оборудования

Датчик

Батарея

GPS

Удаленное наблюдение

Горная порода или Уплотненные осадки

Глубина От 50 до 300 м

Бортовой Акселерометр+ Сейсмометр

Posthole Акселерометр+ Сейсмометр

Уникальный Trillium Compact All-terrain разработан с учетом опыта использования сейсмометра Trillium Compact Ocean Bottom: он способен автоматически выравниваться при диапазоне углов в 360 градусов! Это особенно важно для таких мест размещения, где возможна нестабильность внешних условий в течение долгого времени, или где возможности для подготовки места установки сильно ограничены (вулканы или ледяные поля)

Trillium Horizon – пример нового инструмента для прямой установки в грунт, который будет надежно работать и в неглубокой скважине, и даже на затопленном постаменте!

Список литературы

1. Интернет-ресурс <http://www.nanometrics.ca/seismology/products/trillium-360-posthole> по состоянию на 11.09.2017
2. T. Parker, B. Townsend, A. O. Moores, G. S. Bainbridge, D. Easton. Multi-Use Seismic Stations for Earthquake Early Warning // в материалах конференции American Geophysical Union, Fall General Assembly 2016. San Francisco: 2016. С. #S11D-2503
3. T. Parker, P. Winberry, A. Huerta, G. Bainbridge, P. Devaney. Direct Burial Broadband Seismic Instrumentation that are Rugged and Tilt Tolerant for Polar Environments // в материалах конференции EGU General Assembly 2016. Vienna: 2016. С. 17971
4. Интернет-ресурс <http://www.usarray.org/alaska> по состоянию на 11.09.2017
5. Интернет-ресурс <http://www.vulcan-inc.ru/seismic-equipment/product-documents-nanometrics> по состоянию на 11.09.2017

B. Townsend , T. Parker , G. Bainbridge, R. Greiss. Nanometrics, Ottawa, Canada
Разинков О.Г., Сидоров-Бироков Д.Д. НПК «Вулкан» г. Москва, orazinkov@vulcan-inc.ru

Цифровые сейсмометры серии Meridian

Системы на базе инструментов серии Meridian с интегрированными дигитайзерами. Все опции телеметрии, большой диапазон рабочих углов наклона и прочный корпус для любой окружающей среды делают установку и обслуживание сейсмостанций максимально простыми и удобными

- Предельно прочная и компактная компоновка датчика с дигитайзером и необходимыми кабелями
- Защита в соответствии с IP68, прямая установка в грунт, в необорудованный подвал, в (не)обсаженную скважину
- Интегрированный дигитайзер уменьшает влияние наводок в соединительных кабелях
- Ваши данные защищены герметичным картриджем с SD картой и поддержкой резервирования
- Всегда правильные метаданные, генерируемые по запросу из текущей конфигурации
- Большой рабочий диапазон углов наклона прибора: до ±10° в варианте M120PH или MC20PH
- Автоматическое выравнивание и центрирование масс, инициируемое удаленно (M120PH)
- Прочная и надежная механическая система подвеса не требует арретирования масс
- Электропитание в автономном режиме 1.5 Вт 120PH и 1.0 Вт – компактная версия

Герметичный корпус идеально подходит для установки в (не)обсаженные скважины:

- Сделан из нержавеющей стали, выдерживает продолжительное погружение в воду
- Posthole 120 имеет внешний диаметр 143 мм (5.63 in.). Compact – 97 мм (3.87 in.)
- Рым-болт в крышке для выравнивания и подвеса на тросе

Исключительная производительность датчиков Meridian делает их идеальными для телесеизмических, региональных и локальных исследований:

- Расширенный низкочастотный диапазон с откликом вплоть до 1000 секунд (120PH)
- Стабильно работает при больших углах наклона и при значительных изменениях температуры (120PH). Повторное центрирование после установки необходимо крайне редко
- Возможность разрешения по шумам в пределах новой модели Петерсона NLNM до 200 секундного периода (120PH)
- Высокий динамический диапазон с максимальным уровнем сигнала 16.6 мм/с до 10 Гц и 0.17 г выше 10 Гц (120PH)
- Симметричный трехкомпонентный дизайн чувствительных элементов обеспечивает однородность между горизонтальными и вертикальным каналом

Особенности дигитайзера:

- Истинное 24-разрядное разрешение АЦП
- Интуитивно понятный веб интерфейс, доступный через сетевое подключение
- Две частоты отсчетов до 2000 отс/с в режиме потока и до 500 отс/с в режиме постоянного архивирования
- Универсальная система автоматического детектирования событий с настраиваемыми полосуными фильтрами
- Получение данных при помощи съемной SD карты или локального Ethernet в формате MiniSEED
- Статистика пиковых значений сигналов: ускорение, скорость и смещение
- Различные опции связи в реальном времени, включая поддержку SeedLink

Описание интегрированных датчиков Cascadia

Серия инструментов **Cascadia** – это комбинация проверенных датчиков высокой производительности для сильных и слабых движений в одном блоке, устанавливаемым как единый инструмент. Cascadia имеет ряд преимуществ как в плане улучшенной производительности, так и в части удобства установки и обслуживания. Вы можете выбрать из нескольких вариантов, в том числе такие фундаментальные параметры как диаметр корпуса, технологию сейсмометра и диапазон акселерометра.

Форм-факторы:

- Compact posthole, диаметр 97 мм (3.8")
- Posthole с автоматическим выравниванием, диаметр 143 мм (5.75")
- Borehole, диаметр 143 мм (5.75"), со скважинным замком

Технологии сейсмометра:

- Компактный, портативный, широкополосный – 120 с (в компактном форм-факторе)
- Компактный, портативный с диапазоном углов 10°–20 с (в компактном форм-факторе)
- Полноразмерный, класс observatory – 120 с (в варианте posthole или borehole)
- Класс GSN – 360 с (в варианте posthole или borehole)

Диапазон акселерометра:

- Динамический выбор диапазона сигнала: ±4g, ±2g, ±1g, ±½g, ±¼g

Оптимизация установки:

- Управление двумя датчиками как одним
- Бурение или выкапывание одного отверстия (как глубокого так и мелкого)
- Всего один кабель (для форм-фактора compact)
- Однократное выравнивание и ориентирование
- Электронный пузырьковый уровень в пользовательском интерфейсе регистратора
 - Легкое манипулирование компактным датчиком в несвещенной скважине
 - Удаленная проверка вертикальной ориентации датчика в любое время
 - Контроль положения корпуса во время установки

Производительность и эксплуатационные преимущества:

- Никогда не зашкалит: локальные большие амплитуды и слабые сигналы находятся в пределах объединенного динамического диапазона двух датчиков – сейсмометра и акселерометра
- Все шесть каналов абсолютно точно взаимно ориентированы
- Уровень фоновой шума (от деятельности человека, температурный, вследствие наклона датчика) снижается даже при неглубокой установке

Графическое представление комбинированного динамического диапазона, показывающее максимально возможный регистрируемый сигнал, минимально различимый сигнал (уровень собственного шума), типичные спектры землетрясений с различными магнитудами на различных удалениях, модель Петерсона (NLNM), перекрывающийся и общий динамический диапазоны

На примере показано: Акселерометр Titan 4g с сейсмометром Trillium 120 с Posthole. Возможны другие варианты, например: сейсмометр класса GSN 360 с и акселерометр 2g для глобальной сейсмической сети. Или экономический вариант для более плотных массивов: акселерометр Titan 4g и сейсмометр Trillium CompactPH 120 с

Результаты тестирования Cascadia в полевых условиях

Условия тестирования

Датчик Cascadia Compact с шестиканальным регистратором Centaur были размещены рядом со станцией Y22D Earthscope TA на базе IRIS PASSCAL Instrument Center in Socorro, New Mexico. Датчик был установлен в скважину глубиной ~ 1 м. Проведена серия тестов и долговременные измерения, начиная с весны 2017 года

Волновые формы

Землетрясение (29 марта 2017, 81 км от Усть-Камчатка) записано на станции SOC1 при помощи сейсмометра Compact

Сравнение спектров землетрясения

Сравнение спектров землетрясения и согласованность записей акселерометра Titan и сейсмометра Compact, на примере телесеизмического события магнитудой M=6.6, глубина 17 км (29 марта 2017, 81 км от Усть-Камчатка).