

ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ.

Петров С.А. , Захарченко Л.С.

ООО «ДСис» (эксклюзивный дистрибутор компании Guralp Systems Ltd.) , sales@dsys.ru

Технологии изготовления чувствительных элементов

Сейсмический датчик – основной инструмент для сейсмологических наблюдений.

Какие параметры важны при выборе сейсмического датчика?

Основные параметры:

- частотный диапазон,
- динамический диапазон,
- чувствительность
- внутренний уровень шумов.

В зависимости от решаемой задачи и условий применения перечень параметров может дополняться

По технологиям изготовления (принципу действия) чувствительных элементов сейсмические датчики можно разделить на:

- магнитоэлектрические
- молекулярно-электронные
- пьезоэлектрические
- электромеханические
- микроэлектромеханические (МЭМС)

Магнитоэлектрические датчики имеют подвижную катушку в кольцеобразном воздушном зазоре, образованном полюсными наконечниками и сердечником (рис.1) не имеют электрической обратной связи, что сужает их динамический диапазон почти в 2 раза по сравнению с остальными датчиками.

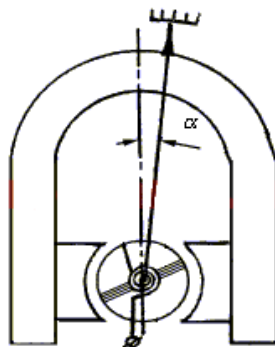


Рис.1. Магнитоэлектрический датчик.

Молекулярно-электронные датчики (рис.2) работают по принципу смещения рабочей жидкости через мембрану из анодов и катодов. Жидкость может изменять свои свойства в зависимости от температуры и давления, что может вносить погрешность в результаты измерений. Конечно, производители утверждают о сверх стабильных характеристиках рабочей жидкости, но все же не стоит забывать об изменении свойств текучести в зависимости от температуры и давления. В любой жидкости могут образовываться пузырьки воздуха и при потере герметичности (либо в следствие каких-либо других процессов) это может вызывать ложные срабатывания при регистрации событий. Можно сделать небольшой вывод, что при работе с этими датчиками необходимо учитывать температурный диапазон работы инструмента и надеяться, что система будет герметична без образования пузырьков.

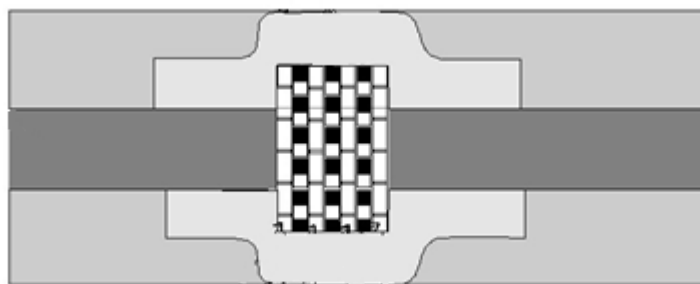


Рис. 2. Смещение корпуса приводит к перетоку рабочей жидкости (серая толстая линия слева направо) через пористую перегородку (черно-белые ячейки) вследствие инерционности жидкости, что вызывает появление выходного сигнала при смещении зарядов.

Пьезоэлектрические преобразователи (Рис.3) используют пьезоэлектрический эффект в кристаллах, керамике или плёнках и преобразуют механическую энергию в электрическую и наоборот, за счет возникновения разности потенциалов на пьезокристалле при его механической деформации.

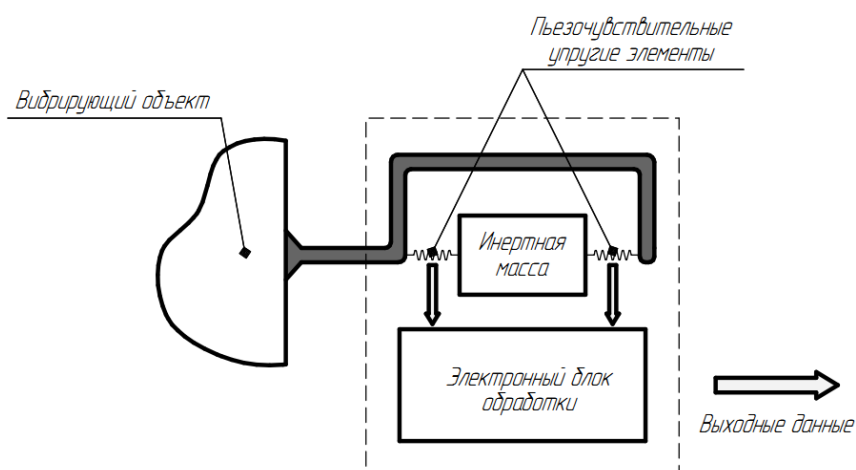


Рис. 3. Примерная схема работы пьезоэлектрического преобразователя.

Здесь стоит обратить внимание на обратный пьезоэффект, который присутствует во всех пьезо-преобразователях. Т.е. система может быть подвержена электромагнитным наводкам, которые в свою очередь будут влиять на пьезо-элементы и вместо того чтобы упругие элементы, к примеру, сжимались, они будут расширяться (либо препятствовать сжатию) и следовательно результаты измерений будут иметь ощутимую погрешность. Отсюда можно сделать вывод, что такие датчики хорошо использовать только в местах с минимальным влиянием каких-либо электромагнитных полей.

Электромеханические датчики (рис. 4) действуют по принципу маятника подвешенного на пружине. Электромеханические датчики стабильно работают при перепаде температур в рабочем диапазоне, вследствие малого влияния температур на свойства металлической пластины. Конечно, когда речь идет об экстремально низких или высоких температурах, то будет использована пластина из другого металла, которая сохраняет свойства в другом диапазоне температур. Электронная часть соответственно тоже модифицируется для возможности работы в экстремальных условиях. Наличие силовой обратной связи обеспечивает динамический диапазон более 120 дБ (в некоторых случаях больше 160дБ), что в несколько раз больше по сравнению с датчиками без неё.

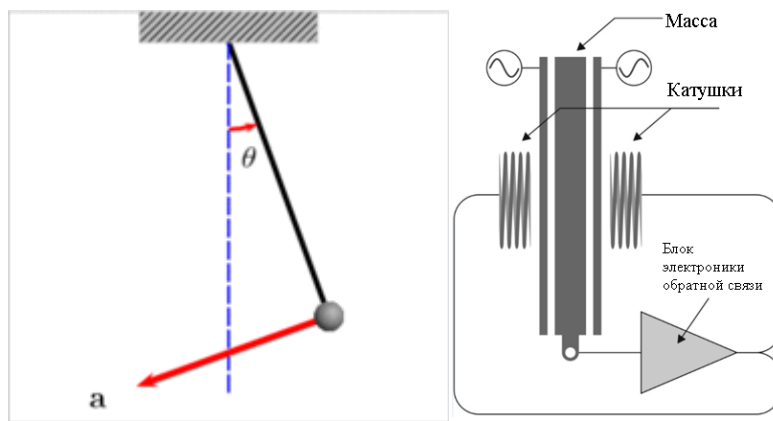


Рис. 4. Слева – маятник на подвесе как основная идея (принцип действия). Справа – полная система с силовой обратной связью.

Микроэлектромеханические (МЭМС) системы (рис.5), устройства, объединяющие в себе микроэлектронные и микромеханические компоненты.

МЭМС-устройства обычно изготавливают на кремниевой подложке с помощью технологии микрообработки, аналогично технологии изготовления однокристалльных интегральных микросхем. Типичные размеры микромеханических элементов лежат в диапазоне от 1 микрометра до 100 микрометров, тогда как размеры кристалла МЭМС микросхемы имеют размеры от 20 микрометров до одного миллиметра.

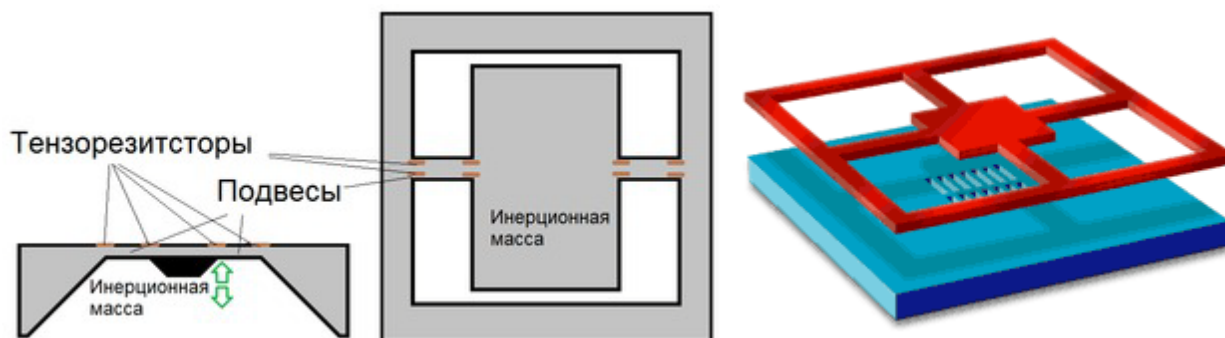


Рис. 5. Чувствительный элемент МЭМС-датчика.

Про МЭМС-датчик можно сказать, что их динамический диапазон составляет около 80-90дБ, но стоит отметить, что они имеют намного более широкий частотный диапазон (вплоть до 2кГц и больше), что делает их лучшими работниками в местах с большими уровнями локального шума и сильными высокочастотными вибрациями.

Каждый датчик подходит для решения определенного списка задач. Здесь рассмотрены только аналоговые части датчиков. Всем аналоговым датчикам для работы необходим регистратор – внешний или внутренний.

Регистраторы

Регистраторы выполняют функцию оцифровки аналогового сигнала, который поступает на аналоговые входы регистратора, и накапливают и/или передают данные уже в виде цифрового сигнала, который, как известно практически не подвержен никаким помехам.

Опции для (требования к) регистрирующей аппаратуры:

- возможность подключения различного количества датчиков (количество каналов регистрации).
- возможность подключения датчиков разных производителей.
- наличие встроенной памяти (в виде чип-модулей памяти или съемных USB-флэш накопителей)
- наличие Ethernet, Wi-Fi, Firewire, USB, 3G и оптоволоконной передачи данных.
- возможность конвертации или записи в требуемом формате.

- сопряжение с максимально возможным количеством самых распространенных программ для анализа сейсмических данных.
- наличие широкого выбора типов синхронизации внутренних часов (от GPS приемников до сетевого протокола РТР).
- пониженное энергопотребление в отсутствии постоянного электропитания.

Оборудование Guralp

Велосиметры и акселерометры используются при проведении сейсмологических, сейсмометрических и инженерно-сейсмометрических наблюдений (мониторинга), при полевых, стационарных исследованиях, исследованиях вулканов, сейсмическом микрорайонировании и в инженерной сейсмологии. Ниже приведены самые распространенные модели сейсмических датчиков подходящих для перечисленных задач:

Трехкомпонентный широкополосный высокочувствительный велосиметр со встроенным регистратором **CMG-3ESPCDE** производства Guralp Systems, Великобритания (Рис. 6. А) для мест с низким уровнем шума. Шум ниже, чем в Новой Модели Низкого Шума (USGS NLNM) в диапазоне частот от 30 сек до 10 Гц.

Трехкомпонентный широкополосный велосиметр со встроенным регистратором **CMG-6TD** производства Guralp Systems, Великобритания (Рис. 6. Б) . Подходит для мест со средним уровнем шума, который ниже чем в Новой Модели Низкого Шума (USGS NLNM) в диапазоне частот от 10 сек до 50 Гц. Идеальный вариант для работы в полевых условиях, при временных и постоянных установках.

Трехкомпонентный широкополосный акселерометр со встроенным регистратором **CMG-5TDE** производства Guralp Systems, Великобритания (Рис. 6. В) широко применяется для мониторинга сильных движений, для локальных сетей, временных установок, мониторинга зданий и сооружений, вулканов, инженерной сейсмологии.

Ниже представлен список некоторых проектов, реализованных в 2015 году и ранее:

- CMG-6TD используется в региональных сейсмических сетях Геофизической Службы РАН (г.Обнинск)
- Институт Вулканологии и Сейсмологии ДВО РАН и Камчатский Филиал ГС РАН (г.Петропавловск-Камчатский) использует цифровые велосиметры CMG-6TD для регистрации вулканического дрожания и землетрясений в зонах современного вулканизма, ведут запись сейсмического шума и собственных колебаний земли методами пассивной регистрации.
- CMG-6TD входят в сейсмическую подсистему Системы Предупреждения Цунами на Дальнем Востоке и установлены на Камчатке, Сахалине, Курилах.
- Проект в Арктике реализованный в 2015 году Государственным научным центром «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» с участием Института Вулканологии и Сейсмологии ДВО РАН с применением CMG-6TD с новыми модулями памяти на 32ГБ.
- Институт Экологических Проблем Севера г. Архангельск в 2015 году установил на Земле Франца Иосифа датчик для полярных исследований CMG-3T Polar который работает до -55С, с

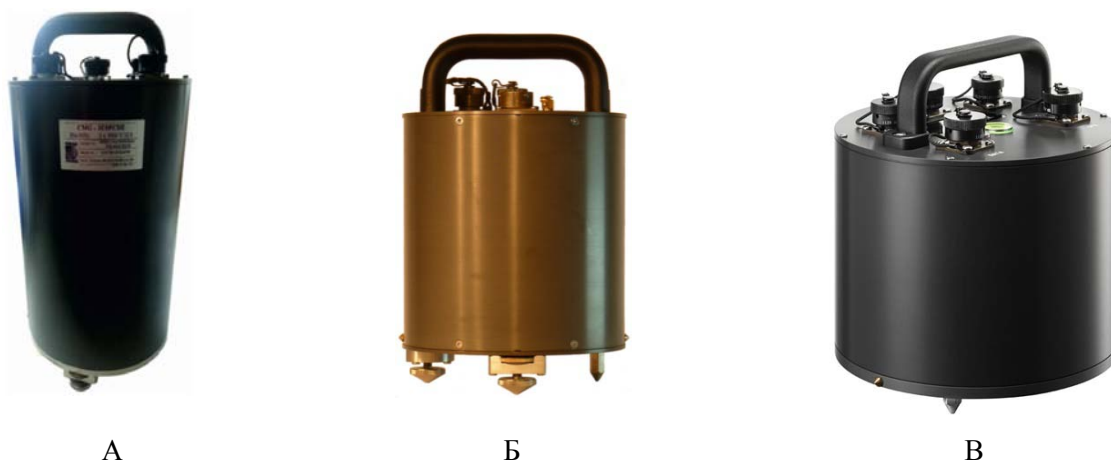


Рис. 6. Трехкомпонентные сеймостанции производства Guralp Systems.

регистратором CMG-DM24,

- Академия Наук Туркменистана использует CMG-5TC и CMG-3ESPC для системы мониторинга территории Республики Туркменистан, установленных более чем на 25 станциях.
- ОАО «Атомэнергопроект» (г. Москва) использует цифровые велосиметры CMG-6TD и акселерометры CMG-5TDE для обновления сети сейсмического мониторинга АЭС на территории России
- Система сейсмологического мониторинга Сулакского каскада ГЭС, состоящая из 13 станций с цифровыми велосиметрами CMG-6TD, установлена в 2015 году
- Алтае-Саянский Филиал ГС СО РАН (г. Новосибирск) используют комплекты датчиков: аналоговый велосиметр CMG-6T, аналоговый акселерометр 5TC и 6-ти канальные регистраторы CMG-DM24S6EAM для мониторинга техногенной сейсмичности и сейсмической обстановки на карьерах. Комплекты, состоящие из высокочувствительного аналогового велосиметра CMG-3ESPC, 5TC и 6-ти канальных регистраторов, осуществляют мониторинг Саяно-Шушенской ГЭС. На Новосибирской ГЭС стоят высокочувствительные цифровые велосиметры CMG-3ESPCDE
- ИФЗ (Москва) использует 5TC для эпицентральных наблюдений (сейсмологического мониторинга)

Список литературы

1. Официальный сайт Guralp Systems. [Электронный ресурс], 2015. <http://www.guralp.com>
2. Пьезоэлектрический эффект. [Электронный ресурс], 2015. <https://ru.wikipedia.org>
3. МЭМС. [Электронный ресурс], 2015. <http://www.npk-photonica.ru/content/products/mems>
4. Электромолекулярный сейсмометр. [Электронный ресурс], 2015. <http://www.сейсмометр.пф/tech.html>