**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт экологических проблем Севера**

**Уральского отделения Российской академии наук**

**(ИЭПС УрО РАН)**

**рекомендации**

**по проведению сейсмологических экспедиций в Арктике**

Научно-методические указания

Архангельск, 2013

УДК 550.34

Антоновская Г.Н., Данилов А.В. **Рекомендации по проведению сейсмологических экспедиций в Арктике** / Под ред. Н.К. Капустян. Архангельск: ИЭПС УрО РАН, 2013. 34 с.

В научно-методических рекомендациях приведены методические и технические указания по установке сейсмических станций на территории Крайнего Севера России, представлены рекомендуемые типы сейсмического оборудования, способы сбора и передачи данных.

Предназначены для научно-исследовательских и проектно-изыскательских организаций, а также любых других организаций, занимающихся вопросами сейсмической безопасности северных территорий.

Ответственный редактор: д.ф.-м.н. Н.К. Капустян

Электронный вариант размещен на: <http://www.iepn.ru/?page=186>

© Институт экологических проблем Севера, 2013

**Введение**

В связи с планируемым увеличением промышленного освоения Арктического региона, и, прежде всего с развитием добывающих, перерабатывающих и транспортных отраслей, одним из направлений научных исследований являются работы по обеспечению безопасности функционирования этих объектов и окружающей территории. Мероприятия безопасности закладываются на всех этапах жизни объекта: при его проектировании, строительстве и эксплуатации (ФЗ №384). Действующая карта ОСР-97, используемая при проектировании инженерных сооружений на возможные сейсмические воздействия [18], для северных, в том числе арктических, территорий в настоящее время не отражает современного уровня знаний по сейсмической ситуации и требует актуализации. В частности, как показывают результаты мониторинга, шельфовые территории Евро-Арктического региона проявляют заметную сейсмическую активность, что не учтено в картах ОСР-97. В связи с этим проведение наблюдений для уточнения сейсмичности арктических и приарктических территорий является весьма актуальной задачей.

В основе карт ОСР лежит вероятностный подход к возникновению во времени и в пространстве очагов землетрясений разных магнитуд [23]. В силу того, что сейсмическим исследованиям территории Полярного Круга уделяется недостаточное внимание, имеющаяся информация о сейсмогеодинамических процессах данного района и не отражает действительность. Сегодня Россия существенно отстает в сейсмологических исследованиях от своих «арктических» соседей (Норвегия, Финляндия, Швеция, Дания, Канада).

Сеть сейсмических станций на территориях Крайнего Севера России редка и неравномерна. Отчасти это обусловлено рядом факторов: низкая степень освоения территорий, слабая развитость дорожно-транспортной сети в сочетании с природно-климатическими и геокриологическими условиями Севера и др. Все это ограничивает набор вариантов мест возможного и целесообразного размещения сейсмической станции и соответствующей инфраструктуры. Кроме того, платформенные территории до недавнего времени считались асейсмичными, т.е. не первоочередными в планировании сейсмологических наблюдений [16].

В процессе построения Архангельской региональной сейсмической сети оказалось, что практически отсутствуют нормативы или рекомендации по организации сетей (от установки отдельных сейсмических станций до создания сейсмических групп). В нашей стране по существу нет технических регламентов на оборудование сейсмостанций и испытание современной сейсмологической аппаратуры [10] – руководств, сравнимых со сборником «Аппаратура и методика сейсмометрических наблюдений СССР» [1]. Специализированные нормативные документы по созданию систем мониторинга разрабатываются лишь крупными корпорациями, такими как «Росатом», «РусГидро», направленными на решение конкретных задач – обеспечение и безопасная эксплуатация ответственных сооружений, находящихся в их ведомстве, в том числе расположенных в зонах с высокой сейсмической активностью [19, 20]. Отличительной чертой этих документов являются рекомендации по структуре и аппаратурном наполнении систем мониторинга, представлены общие сведения, но практически не рассмотрены вопросы технического характера – подбор аппаратуры, способы ее установки и пр. С еще большими трудностями приходится сталкиваться при установке сейсмических станций за Полярным Кругом.

Настоящая работа не претендует на полноту охвата всех вариантов по установке сейсмических станций на территории Крайнего Севера России, она содержит анализ различных типов сейсмического оборудования, особое внимание уделяется способам сбора и передачи данных. Представленные сведения помогут избежать в будущем многих досадных промахов при реализации сейсмологических наблюдений, учитывая, что каждый промах в суровых условиях Крайнего Севера экономически и технологически значительно труднее исправить, чем в других, более южных районах.

«Рекомендации» не претендуют на «строгость» определений и классификаций, но составлены с целью быть понятными специалистам широкого профиля.

В «Рекомендациях» представлена также информация, позволяющая самостоятельно выполнить строительно-монтажные работы по установке сейсмической станции.

«Рекомендации» базируются на опыте, полученном при проведении работ по расширению Архангельской сейсмической сети, и исследованиях, выполняемых в рамках реализации: ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы госконтракт № 14.740.11.0195 и соглашение № 8331; грантов РФФИ №№ 10-05-00497, 11-05-98800-р\_север\_а; программ Президиума РАН №№ 09-П-5-1019, 12-П-5-1009; гранта Президента РФ МК-6178.2012.5.

Все замечания и пожелания по улучшению данных «Рекомендаций» просим высылать на e-mail: [essm.ras@gmail.com](mailto:essm.ras@gmail.com).

**1. НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ**

* 1. Настоящие «Рекомендации» следует использовать при установке сейсмических станций на территориях Крайнего Севера России. В «Рекомендациях» обобщены сведения о типах сейсмометрической аппаратуры, выборе места под станцию, организации сейсмического бункера, способах передачи данных, установке и настройке сейсмической станции, способах организации электроснабжения, что позволяет подобрать оптимальные варианты оборудования в зависимости от района установки станции, имеющейся инфраструктуры и финансирования.
  2. «Рекомендации» содержат информацию о фирмах, занимающихся созданием сейсмической аппаратуры, всех необходимых устройств и материалов для организации сбора и передачи данных, что позволяет значительно сократить время при поиске подходящего решения.
  3. Целью настоящих «Рекомендаций» является обобщение имеющихся знаний и опыта по установке сейсмических станций в условиях Крайнего Севера.

1. **Основные термины и определения** 
   1. **автоматизированный комплекс:** Комплекс аппаратурных и программных средств, предназначенный для управления различными процессами в рамках сейсмического мониторинга.
   2. **грунт:** [Горные породы](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B0), [почвы](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D1%87%D0%B2%D0%B0), [осадки](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%BE%D1%81%D0%B0%D0%B4%D0%BA%D0%B8), техногенные (антропогенные) образования, представляющие собой многокомпонентные, [динамичные системы](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0), являющиеся компонентами [геологической среды](http://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%93%D0%B5%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B0&action=edit&redlink=1) и объектом инженерно-хозяйственной деятельности человека.
   3. **землетрясение локальное:** Землетрясение, очаг которого расположен в радиусе менее 30 км от места установки сейсмической станции. (РБ 019-01).
   4. **землетрясение местное:** Землетрясение, очаг которого расположен в радиусе от 30 до 300 км от места установки сейсмической станции (РБ 019-01).
   5. **землетрясение удаленное:** Землетрясение, очаг которого расположен на расстоянии более 300 км от места установки сейсмической станции (РБ О19-01).
   6. **инструментальная регистрация:** Информационная функция, целью которой является фиксация информации на каком-либо носителе, позволяющем ее хранение.
   7. **Крайний Север:** Часть территории [России](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D1%8F), расположенная главным образом к северу от [Северного Полярного круга](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B5%D0%B2%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8F%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BA%D1%80%D1%83%D0%B3). Климат в некоторых районах чрезвычайно суровый. Территория Крайнего Севера – это [арктическая зона](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%80%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0), [тундра](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%83%D0%BD%D0%B4%D1%80%D0%B0), [лесотундра](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B5%D1%81%D0%BE%D1%82%D1%83%D0%BD%D0%B4%D1%80%D0%B0), и районы северной [тайги](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B0%D0%B9%D0%B3%D0%B0).
   8. **порода коренная:** Скальные или другие породы, характеризующиеся скоростью распространения поперечных (сдвиговых) волн не менее 700 м/с. (РБ-006-98).
   9. **регистратор:** Электронное устройство, предназначенное для усиления, преобразования в цифровой код сигналов с сейсмических датчиков и их передачи по проводной или беспроводной связи.
   10. **сейсмическая аппаратура:** Аппаратура, предназначенная для преобразования механических колебаний в электрический сигнал. Состоит из датчика и регистратора. Датчики (сейсмометры) бывают следующих типов: акселерометры и велосиметры, предназначенные на регистрацию линейных и крутильных колебаний. Велосиметры измеряют скорость смещения, а акселерометры - ускорение смещения. Сейсмический датчик позволяет зафиксировать время прихода сейсмической волны, а также определить её динамические параметры (период, амплитуду и пр.).
   11. **сейсмологический мониторинг:** Сейсмологические наблюдения во времени за сейсмическим режимом территории, практическая цель - уточнение сейсмических воздействий на объект.
   12. **сейсмические датчики (сейсмометры):** устройства, позволяющие производить наблюдения пространственных компонент колебаний: линейных по трем координатам и/или крутильных в трех плоскостях.
2. **Сейсмическая аппаратура**

3.1. **Общие сведения**

3.1.1. При установке сейсмических станций на территориях Крайнего Севера аппаратура должна удовлетворять следующим требованиям:

- надежная работа при низких температурах (до -35ºС) и высокой влажности (относительная влажность воздуха 80-90%);

- технологичность транспортировки, не требующая специализированных сложных мероприятий и громоздких устройств;

- технологичность и простота в эксплуатации (возможность обучения персонала работе с аппаратурой без специализированной квалификации);

- возможность создавать резервную копию данных на внутренний носитель информации датчика или регистратора;

- наличие резервного питания;

- малое энергопотребление;

- возможность удаленного управления аппаратурой (настройка, перезагрузка, получение отчетов о состоянии датчика, скачивание данных с внутреннего носителя информации и пр.).

3.1.2. В таблицах 1 и 2 представлены сведения о достаточно широко используемых на практике датчиках и регистраторах, ориентированных на наблюдения землетрясений, выполнена оценка возможности применения данного оборудования в условиях Крайнего Севера.

3.1.3. Наиболее надежной и широко используемой аппаратурой для северных регионов в мировом сейсмологическом сообществе являются датчики и регистраторыфирм Kinemetrics®, Nanometrics®, в меньшей степени – Guralp®. Из отечественных производителей, выпускающих аппаратуру для Севера можно выделить компанию «Р-сенсорс», занимающуюся разработкой непосредственно датчиков (велосиметры, акселерометры, датчики крутильных колебаний), и ООО «АлексЛаб», разработавшую серию регистраторов (КБС-1..3), в том числе последняя разработка – станция ADSR3 [22].

3.1.4. Из представленных в таблицах 1 и 2 зарубежных фирм, только фирма Guralp Systems Limited® имеет официального представителя в России – это компания НПП «ВУЛКАН», в связи с этим большинство Российских сейсмических сетей укомплектованы оборудованием данной фирмы, в том числе Архангельская региональная сеть (установлены аналоговые велосиметры CMG-3ESP с регистраторами GSR-24 и CMG-6TD, совмещающие в себе датчик и регистратор). CMG-6TD показал свою универсальность при решении как фундаментальных, так и прикладных задач.

3.1.5. Использование аппаратуры одного типа не только внутри отдельной сейсмической сети, но и в глобальных сетях облегчает процедуры совместной обработки данных.

**3.2. Достоинства и недостатки, выявленные на практике при работе с датчиком CMG-6TD.**

3.2.1. Недостатки:

а) Без подключенной GPS–антенны (модуль GPS находится внутри датчика) или при разрыве GPS провода, текущие дата и время прибора могут быть сброшены на значение по умолчанию. Например, это может быть вызвано браком модуля GPS.

В качестве примера приведем случай, когда на одной из станций сейсмологического пункта «Земля Франца-Иосифа» (ЗФИ) собаки перегрызли GPS-кабель. Это суровая действительность - животные на Крайнем Севере (белые медведи, собаки, птицы) представляют реальную угрозу устойчивой регистрации.

Таблица 1 – Сейсмическая аппаратура – датчики

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование датчика | Кол-во компонент | Тип выходного сигнала | Полоса частот, Гц | Рабочий диапазон температур, оС |
| СМ3-КВ | 1 | А | 0.5-100 | –10…+40 |
| СПВ-3К | 3 | А | 0.5-65 | -30…+55 |
| CMG-5T | 3 | А/Ц | 0-100 | –20…+70 |
| CMG-3ESP | 3 | А/Ц | 0.008-50  0.03-50 | –20…+65 |
| CMG-6Т | 3 | А/Ц | 0.03-100 | –40…+75/  –20…+85 |
| CMG-40T | 3 | А/Ц | 0.03-50 | –20…+75 |
| Донный датчик СМE-206С-WP10 | 6 (3 линейн. и 3 крутил.) | А, дифференциальный | 1-300 – линейн.;  0.03-100 – крутил. | –40…+50 |
| СМЕ-4211 | 3 | А | 0.033 - 50 | –12…+55 |
| METR-03-LT | 3 | А | 0.05-20 | –12…+55 |
| Trillium Compact | 3 | А | 0.008-100 | –40…+60 |
| Trillium 120 | 3 | А | 0.008-145 | –20…+50 |
| Trillium РН | 3 | А | 0.008-150 | –40…+55 |
| Trillium 240 | 3 | А | 0.004-200 | –20…+50 |
| STS-2.5 | 3 | А | 0.008-50 | –20…+70 |
| STS-5А | 3 | А | 0.008-50 | –20…+70 |

Примечание: А – аналоговый; Ц – цифровой

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вес, кг | Удобство работы | Изготовитель | Примечание |
| 8 | - | Россия [17] | Регистрация локальных и региональных событий. Чувствителен к транспортировке |
| 3 | + | Россия [31] | ----“--- |
| 2.7/ 4.3 | + | Англия [25] | Акселерометр. Регистрация всех типов сейсм. событий. |
| 9.3/ 8.3 | - | ----“--- | Регистрация всех типов сейсм. событий. Чувствителен к транспортировке и перепадам температур |
| 2.5/ 2.7 | + | ----“--- | Регистрация всех типов сейсм. событий. |
| 2.5 | + | ----“--- | ----“--- |
| 5 | - | Россия [3] | Регистрация локальных и региональных событий. Малый вес, необходима доработка по требованиям сейсмологических наблюдений |
| 4.9 | + | ----“--- | Регистрация всех типов сейсм. событий. |
| 1 | + | ----“--- | Датчик крутильных колебаний. Для инженерных задач (мониторинг собственных частот зданий) |
| 1.2 | + | Канада [27] | Регистрация всех типов сейсм. событий. |
| 7,5 | + | ----“--- | ----“--- |
| 16 | + | ----“--- | Скважинный велосиметр. То же |
| 14 | + | ----“--- | ----“--- |
| 12 | + | США [26] | ----“--- |
|  | + | ----“--- | Скважинный велосиметр. То же |

Таблица 2 – Сейсмическая аппаратура – регистраторы

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Модель | Кол-во каналов регистрации | Разрядность АЦП | Динамический диапазон | Потребление энергии: |
| КБС-3 | 3 | 22 | 108 дБ при 100 отс/с | 120 мА = 1.44 Вт |
| ADSR3 | 3 | 31 | 130 дБ при 200 отс/с  142-144 дБ в полосе 20 Гц | 160 мА = 1.92 Вт |
| ДИОГЕН-Х/24S | 2-4-6-…-24 или 3-6-9-…-24 | 24 | 120 дБ | до 6 Вт |
| UGRA | 3 | 16 | 144.5 дБ | 58 мА = 7 Вт |
| ZET 048-I | 4-32 | 24 | 124 дБ при 50 отс/с  120 дБ при 250 отс/с | 67 мА = 0.8 Вт (4 канала),  417 мА = 5 Вт (32 канала) |
| CMG-DM24 | 3, 6, 9, 12 | 32 | 137 дБ при 100 отс/с  141 дБ при 40 отс/с | 3 канала: 77 мA = 0,92 Вт  6 каналов: 120 мA = 1.44 Вт |
| Байкал | 3 | 24 | 135 дБ при 100 отс/с | 2 Вт |
| GSR-24 | 3 | 24 | 129 дБ при 100 отс/с  133 дБ при 50 отс/с | 140 мА = 1.68 Вт |
| The Taurus Digital Seismograph | 3 | 24 | > 141 дБ при 100 отс/с | 62.5 мА = 0.75 Вт |
| Granite | 12, 24, 36 | 24 | 127 дБ при 200 отс/с  130 дБ при 100 отс/с | 335 мА = 4.02 Вт (12 каналов) |
| Q330HR | 6 | 3 HR 26-бит и 3 по 24-бит | 144–145 дБ | 208 мА = 2.5 Вт (6 каналов) |
| Basalt 4X/8X | 4/8 | 24 | 127 дБ при 200 отс/с  130 дБ при 100 отс/с | 145 мА = 1.74 Вт / 230 мА = 2.76 Вт |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Опции Ethernet/ Wi-Fi/Flash /USB | Рабочий диапазон температур, оС | Вес, кг | Использование для стационар. станции | Страна изготовитель |
| - | –20…+40 | 0.5 | - | Россия |
| + | –40…+75 | 0.5 | + | Россия |
| + | –20…+55 | 4 | + | Россия [12] |
| Flash | –20…+40 | 2.5 | **-** | Россия [9] |
| + | –30…+50 | 2 (4 канала) | - | Россия [13] |
| + | –40…+60 |  | + | Англия [25] |
| Flash-носитель | -40…+80 | 2 | - | Россия [3] |
| Flash-носитель | –20…+70 | 7.2 | + | Швейцария [14] |
| + | –20…+60 | 1.8 | + | Канада [27] |
| + | –20…+70 | 7.3 (12 каналов) | + | США [26] |
| + | –20…+70 | 3.6 | + | ----“--- |
| + | –20…+70 | 4.6 / 7.3 | + | ----“--- |

Устранить неполадку удалось только летом, причем пришлось вскрывать сейсмический бункер, доставать датчик и восстанавливать все настройки. В результате, были утеряны сейсмические данные более чем за два месяца. В связи с этим необходимо всегда выполнять защиту GPS кабеля.

б) Отсутствие арретирования маятников.

Согласно прилагаемой инструкции, для конфигурации CMG-6ТD нет необходимости в арретировании, как, например, при работе с велосиметрами CMG-3ESP. Учитывая особенности доставки оборудования на Крайнем Севере, особенно при самолетно-вертолетно-вездеходных перемещениях, даже при тщательных мероприятиях по защите датчика, центры масс компонент колебаний могут «уходить» из положения «нуля». Поэтому приходится производить центровку вручную, что может привести к повреждению маятников прибора в процессе снятия или установки корпуса датчика.

в) Неустойчивая работа прошивок программного обеспечения инструментов.

Было замечено, что периодически могут не скачиваться данные с внутренней памяти датчика непосредственно на компьютер в силу неких ошибок в микропрограмме. Редко, но происходят самопроизвольные перезагрузки датчиков, и полные сбросы установленных настроек на настройки по умолчанию..

Важно, что в условиях, когда специалист не может оперативно добраться до датчика, такое снижение надежности, несущественное при постоянном контакте оператор-датчик, может приводить к невосполнимой потере данных.

*Основные рекомендации:* тщательное тестирование оборудования

3.2.2. Достоинства датчика CMG-6TD:

а) малый вес (до 8 кг);

б) прочный, водонепроницаемый корпус из анодированного алюминия;

в) простота в установке и запуске (допустимо отклонение от горизонтали в 3 градуса;

г) при подключении питания к датчику практически сразу начинается регистрация данных;

д) возможность работы в различных режимах записи данных одновременно, в том числе и с использованием внутренней флэш-памяти датчика;

е) широкий частотный диапазон регистрируемых сигналов;

ж) малое энергопотребление;

з) возможность удаленного управления аппаратурой.

*Рекомендации:* датчик CMG-6TD является универсальным прибором при проведении полевых исследований в широком диапазоне природных условий и решаемых геофизических задач.

1. **Выбор места для станции**

4.1. При выборе места для размещения стационарной сейсмической станции в соответствии с геолого-геофизическим строением района, необходимо придерживаться следующих требований:

- район установки станции должен быть достаточно важным для исследования геодинамики территории, наиболее удачно дополнять существующую сейсмологическую сеть или являться ключевой точкой для организации локальной (региональной) сети;

- учитывать тип категории грунта по сейсмическим свойствам (предпочтительны грунты I или I-II категории). Оптимальными являются коренные породы, но подходят также любые плотные грунты (мергель, известняк). Следует избегать районов с залеганием мощных слоев супесей. При установке датчиков на льду необходимо добиться стабилизации температуры в районе датчика, во избежание подтаивания льда и «ухода нуля» уровня датчика;

- возможность организации сейсмического укрытия (бункера) либо установки датчика без него, но с защитой от внешних условий (вариаций давления, температуры, уровня влажности; защита от несанкционированного доступа);

- транспортная доступность к пункту установки;

- место для размещения станции должно быть максимально изолированного от внешних источников колебаний (низкий уровень природных микросейсм и техногенных вибраций);

- возможность прокладки кабелей (электрический 12, 24 или 220 В и/или сигнальный провод) от компьютера до места размещения станции;

- сервер (компьютер) устанавливается в помещении, температура в котором не опускается ниже 0оС;

- возможность передачи данных в режиме on-line, в режиме близком к реальному времени, либо в любом другом доступном режиме.

4.2. Как правило, для установки сейсмической станции выбирают ряд наиболее подходящих мест (по технологическим и геологическим условиям), в которых проводится анализ микросейсмического фона, в результате чего выбирается наиболее подходящее место [24].

1. **Сейсмический бункер**

5.1. Сооружение для сейсмологических наблюдений должно удовлетворять следующим общим требованиям:

- обеспечивать соответствующие условия для эксплуатации оборудования (баро-, термо- и гидроизоляцию);

- гарантировать надлежащий механический контакт сейсмометров с подстилающими породами;

- уменьшать шум, вызываемый экзогенными природными процессами и техногенной деятельностью;

- обеспечивать заданные стабильные значения температуры и влажности в рабочем диапазоне;

- обеспечить электрическое заземление сейсмического оборудования, предусмотреть экранирование и молниезащиту;

- предусмотреть антивандальную защиту, а также предотвратить попадание в сооружение дождя и снега, пыли, грязи, плесени, насекомых и животных.

5.2. Сейсмометры необходимо заглубить для снижения уровня поверхностных помех: техногенных и экзогенных природных микросейсм – как правило, чем глубже удастся построить сейсмическое сооружение, тем лучше. Хорошим вариантом являются неэксплуатируемые шахты, но тут надо иметь в виду возможность присутствия экзогенных природных микросейсм, связанных с процессами переработки внутренних напряжений средой: шумом в солевых пластах, разгрузкой напряжений в горных выработках и др. (обзор см. [7]).

5.3. В случае наличия скальных пород датчик размещают вблизи поверхности с организацией соответствующей защиты оборудования.

5.4. В условиях вечной мерзлоты, а также при отсутствии крупной специализированной строительной техники, процесс подготовки ямы для строительства сейсмического сооружения является крайне затруднительным. По нашему опыту использование бензинового отбойного молотка для этих целей значительно упрощает задачу [11].

5.5. При ограниченных финансовых возможностях в качестве основы для сейсмопунктов можно использовать металлические бочки от ГСМ (объем 200 л), которые, как правило, имеются в достаточном количестве на северных территориях (рис. 1).

5.6. Яма под бочку подготавливается исходя из ее размеров, достаточной является глубина 60–70 см.



Рисунок 1 – Бочки ГСМ, пригодные в качестве основы для сооружения сейсмического бункера

5.7. Бочка от ГСМ разрезается на две части, отступив от верхнего края 20 см. Высота большей части бочки должна позволять производить все необходимые манипуляции с оборудованием – без затруднений поставить датчик на дно бочки, установить его по уровню. По всей окружности обоих частей бочки необходимо сделать надрезы глубиной 5–7 см для более удобного их соединения.

5.8. На дне ямы заливается фундамент из цементно-песчаной смеси (необходимо подобрать соответствующую марку цемента, но не ниже М400, в случаях работы при температурах ниже 5оС необходимо использовать противоморозные добавки), на который, пока он еще окончательно не затвердел, устанавливается бочка; затем, яма засыпается грунтом и утрамбовывается (рис. 2). После того как цемент затвердеет (порядка 24 ч), яма засыпается грунтом и утрамбовывается (рис. 2). В результате, над уровнем грунта бочка должна выступать на 10–15 см.

5.9. Бочку необходимо утеплить. В качестве утеплителя можно использовать вспененный полистирол, его прокладка показана на рисунке 2б. Заготовки изготавливают тороидальной формы. Минимальное количество определяется высотой датчика. Отверстие вырезают из расчета диаметр датчика плюс 10–15 см, для возможности установки датчика по уровню. Дополнительно изготавливаются сплошные заготовки (без центрального отверстия), одну из которых, с проделанным небольшим отверстием для проводов, приклеивают на внутреннюю поверхность меньшей части бочки (крышки).

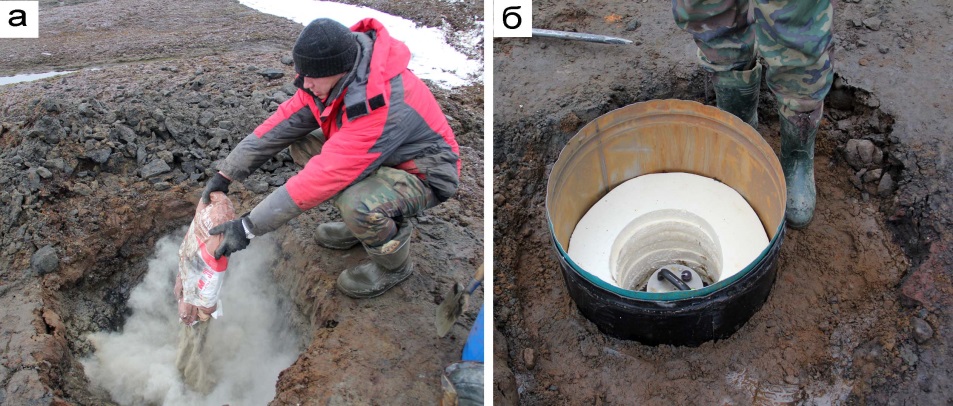


Рисунок 2 – Подготовка постамента и установка бочки на о. Земля Александры арх. Земля Франца-Иосифа

5.10. После того, как выполнены все действия по установке аппаратуры и прокладке кабеля, бочку закрывают, как показано на рисунке 3а. Необходимо выполнить изоляцию всех щелей, образующихся на бочке. Для этих целей используется гидроизолирующие материалы, например, ТЕХНОЭЛАСТМОСТ компании «ТехноНИКОЛЬ», армированная лента.

5.11. Бочку полностью засыпается грунтом (рисунок 3б).



Рисунок 3 – Подготовка сейсмического сооружения на о. Земля Александры арх. Земля Франца-Иосифа

1. **Передача данных**
   1. Сейсмический сигнал с датчика на принимающий компьютер можно передавать, используя медные провода, оптическое волокно или беспроводные каналы связи. Для передачи данных используются стандартные средства предлагаемые производителем аппаратуры (для велосиметров CMG-6TD это RS-232), однако, в случае передачи данных на расстояния большие, чем позволяет стандартный интерфейс, необходимо использовать дополнительные устройства. Например, в зависимости от комплектации датчика это могут быть WI-FI и/или Ethernet. На коротких расстояниях (до 20 м) можно использовать интерфейс RS-232, на расстояниях до 100 м – Ethernet [100BASE-T](http://ru.wikipedia.org/wiki/100BASE-T), свыше 100 м – специализированные преобразователи, представленные в таблице 3.
   2. Наиболее удобен и экономичен для передачи данных радиосигнал. Однако в случае сбоя в работе оборудования или сильных помех (например, грозовых) происходит отключение модуля беспроводной передачи данных, встроенного в датчик. Его повторный запуск и восстановление настроек возможно только при подключении к стандартному интерфейсу RS-232. Во избежание данной проблемы необходимо использовать стандартный интерфейс (RS-232), который в случае передачи данных более чем на 20 м, заменяется на радиоканал WI-FI, либо на интерфейс RS-485 или RS-422.
   3. В зависимости от геологических особенностей, удаленности района установки станции, имеющейся инфраструктуры и пр. условий, установка опор для закрепления радио антенн может быть весьма затруднительна. Кроме того, на качество передающего сигнала оказывают влияние метеофакторы, в силу чего связь может быть не устойчивой и данные могут быть потеряны.
   4. В отличие от беспроводных каналов, кабельные линии обеспечивают стабильную передачу сигнала. В силу технической сложности прокладки/подсоединения оптоволоконного кабеля в условиях Крайнего Севера (необходимо привлечение специализированных фирм), более простым для самостоятельной работы является использование медного провода.
   5. При выборе кабеля для передачи данных необходимо обратить внимание на следующие моменты:

– наличие бронированного покрытия (для защиты от механических повреждений);

– экранирование во избежание влияния внешних полей на сигнал;

– наличие изоляции из полиэтилена, который имеет высокие свойства изоляции, низкие диэлектрические потери; меньшую массу и габариты кабеля в целом, что облегчает его прокладку как в кабельных сооружениях, так и в земле на сложных трассах; высокую влагостойкость и меньший радиус изгиба; возможность прокладки на трассах с неограниченной разностью уровней.

Таблица 3 – Варианты передачи данных с использованием

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Устройства для передачи данных | Преобразователь сигналов | Дальность передачи на одном сегменте линии, м |
| RS-485 | MOXA TCC-100I | 1200 |
| ОВЕН АС3-М |
| НИЛ АП NL-232C |
| ICP DAS I-7520AR |
| RS-422 | MOXA TCC-100I | 1200 |
| Korenix JetCon 2201iw |
| Advantech ADAM-4522 |
| Оптоволокно (ОВ) | MOXA TCF-142-S-ST-T (одномодовое ОВ) | 40000 |
| Korenix JetCon 2401m (многомодовое ОВ) | 5000 |
| Advantech ADAM-4541 (многомодовое ОВ) | 2500 |
| Радиоканал  WI-FI | Антена HiTE Wi-Fi-19 | до 3000 |
| Антена D-Link ANT24-0800 | до 2000 |
| Антена D-Link ANT24-2100 | до 10000 |

базового интерфейса (RS-232)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Дуплексная передача данных | Простота монтажа/ цена, USD | Рабочий диапазон температур, °С | Источник |
| + | +/121 | -20…+60 | [5] |
| - | +/55 | -20…+75 |
| + | +/95 | -40…+70 |
| - | +/70 | -25…+75 |
| + | +/121 | -20…+60 |
| + | +/100 | -40…+70 |
| + | +/71 | -10…+70 |
| + | -/428 | -40…+75 |
| + | -/138 | -20…+70 |
| + | -/214 | -10…+70 |
| + | -/112 | -30…+70 | [30] |
| + | -/103 | -40…+80 | [29] |
| + | -/283 | -40…+70 |

В таблице 4 представлены основные марки кабелей, соответствующие вышеуказанным требованиям.

* 1. Выбор сечения и количество пар жил кабеля зависит от решаемых задач. Например, при подаче напряжения 24 В на 1 км оптимальным вариантом является сечение жилы не менее 1.5 мм2. Из таблицы 4 видно, что кабель П-270 наилучшим образом соответствует всем предъявляемым требованиям.
  2. В зависимости от условий района установки сейсмической станции кабель прокладывается по поверхности земли, в грунте или подвешивается на специальные стойки. Возможны случаи, когда кабель необходимо дополнительно защитить, например, в местах проезда транспортных средств, проложив его в трубе нужного диаметра (рис. 4). От порчи кабеля животными можно также защитить его прокладкой в трубах или металлической гофре, либо смазав техническими средствами, к примеру, литолом.



Рисунок 4 – Прокладка проводов для сейсмической станции «Земля Франца-Иосифа»

Таблица 4 – Марки кабелей и их характеристики

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Маркировка кабеля | Кол-во пар жил  (опт. волокон)/ сечение жилы, мм2 | Броня/экран | Рабочий диапазон темпер., °С | Возможность прокладки в земле/удобство монтажа | Масса кабеля длинной 1 км, кг | Источник |
| Токопроводящая жила из меди | | | | | | |
| Герда КПсК | 2/1.5 | +/+ | -50…+70 | +/+ | 475 | [4] |
| Герда КВИП | 2/1.5 | +/+ | -50…+80 | +/+ | 409 |
| Герда КУИН | 2/1.5 | +/+ | -50…+80 | +/+ | 438 |
| П-270 | 2/9.2 | +/+ | -40…+55 | +/+ | 240 | [6] |
| П-269 | 3/2 | -/+ | -40…+55 | +/+ | 226 |
| П-296 | 2/0.86 | -/+ | -50…+55 | +/+ | 200 |
| Оптическое волокно | | | | | | |
| Герда-КОУ-TК | 1.2…12 | + | -40…+50 | +/- | от 215 | [4] |
| ОКБ-П | 2.4…144 | + | -40…+60 | +/- | от 299 | [2] |
| ОКБ-Т | 2.4…48 | + | -40…+60 | +/- | от 188 |
| ОКБс | 2.4…48 | + | -60…+70 | +/- | от 196 |
| ОМЗКГЦ | 8.10…48 | + | -40…+70 | +/- | от 167 | [8] |
| ОМЗКГМ | 8.10…48 | + | -40…+70 | +/- | от 276 |

* 1. Анализ таблицы 3 показывает, что наиболее подходящим вариантом для передачи данных в арктических условиях является использование интерфейса RS-485 или RS-422. Главное различие: RS-422 всегда дуплексный (4 жилы), а RS-485 может быть как полудуплексным (2 жилы), так и дуплексным (4 жилы). RS-485 обеспечивает многоточечную структуру и позволяет подключить несколько приемо-передатчиков на одну линию, в отличие от RS-422, который позволяет иметь на линии лишь один приемо-передатчик и несколько приемников.

Как правило, выпускаются комбинированные преобразователи, совмещающие оба интерфейса. Например, на одном из комплектов аппаратуры сейсмологического пункта «Земля Франца-Иосифа» для передачи данных на расстояние 1000 м был применен интерфейс RS-485.

* 1. RS-485 интерфейс необходимо преобразовать для подключения к ПК. Для адаптации к стандартным интерфейсам ПК используются преобразователи интерфейсов или медиа-конверторы, основные типы которых представлены в таблице 5 [5].

Таблица 5 – Типы преобразователей сигналов для подключения к компьютеру

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Устройство для передачи данных | Конвертация сигнала | Преобразователь сигналов | Дуплексная передача данных | Простота монтажа/ цена, USD |
| Интерфейс RS-485 | в USB | ОВЕН АС4 | - | +/59 |
| MOXA UPort 1150 | + | +/89 |
| Kron TUSB-485 GS V12 | - | +/70 |
| Интерфейс RS-485 | в Ethernet | Advantech ADAM-4571 | + | +/179 |
| VSCom NetCom 113 Din Rail | + | +/127 |
| MOXA NPort 5130 | + | +/135 |
| Оптоволокно (ОВ) | Advantech EKI -2541M-AE (многомодовое ОВ) | + | -/156 |
| MOXA IMC-21-M-SC (многомодовое ОВ) | + | -/182 |
| MOXA IMC-21-S-SC (одномодовое ОВ) | + | -/271 |
| Korenix JetCon 1301-m (многомодовое ОВ) | + | -/88 |
| Korenix JetCon 1301-s (одномодовое ОВ) | + | -/138 |

* 1. Прием данных от датчиков на компьютер осуществляется при помощи специализированного программного обеспечения. Например, при использовании аппаратуры фирмы Guralp® используется программа «Scream!» [25].
  2. **Передача данных в обрабатывающий центр может быть осуществлена с использованием спутниковой связи, интернет канала или почтовой связи, в зависимости от имеющейся инфраструктуры в районе установки оборудования.**

Если связь отсутствует, то оператор переписывает данные на съемный носитель и отправляет в центр обработки данных любым доступным способом.

Например, у сотрудников Кольского филиала ГС РАН данные с датчиков [Апатитской сейсмической группы](http://www.krsc.ru/netwdet.htm) передаются с помощью радиомодемов в центр обработки данных (г. Апатиты).

Далее, к ним добавляются данные длиннопериодной сейсмостанции Апатиты, информация объединяется в секундные блоки и записывается в дисковый кольцевой буфер. В кольцевом буфере данные существуют в течение 14 дней, затем замещаются новыми данными. За это время они просматриваются автоматическим детектором событий (программный комплекс EL), который отбирает фрагменты записей, соответствующие реальным сейсмическим событиям, сохраняет их в виде CSS-файлов и лоцирует [15].

* 1. Для Евро-Арктических территорий РФ наиболее стабильной спутниковой системой является система Iridium OpenPort. Главный минус – это очень высокая стоимость [28].
  2. Передача по средствам интернет-канала осуществляется либо при помощи специального оборудования и программного обеспечения от провайдера (к примеру, 3G модемы), либо при помощи стандартных программных и аппаратных средств ПК.

Данные по интернет каналу могут передаваться в обрабатывающий центр как on-line, так и в режиме близком к реальному времени, в виде архивированных пакетов, в зависимости от возможностей канала.

1. **Установка и настройка сейсмической станции**
   1. Датчик (велосиметр/акселерометр) размещается в специально подготовленный бункер (бочку), устанавливается уровень, подсоединяются необходимые провода, бункер (бочка) утепляется.

При использовании аналогового датчика и регистратора, последний устанавливается сверху над датчиком между слоями утеплителя (рис. 5).



Рисунок 5 – Установка велосиметра в подготовленный бункер

* 1. Бункер (бочка) плотно закрывается крышкой и полностью засыпается грунтом
  2. GPS антенна закрепляется на мачте (стойке) рядом с местом размещения станции.
  3. На принимающем компьютере устанавливается необходимое программное обеспечение, которое, как правило, поставляется вместе с датчиком.
  4. На датчике выбирается режим, в котором данные автоматически посылаются на компьютер и на внутреннюю флэш-память датчика, если такая возможность имеется.
  5. Организуется передача данных в обрабатывающий центр любым доступным способом.

1. **Способы организации электроснабжения станций**

8.1. Для организации сейсмологического пункта очень важно решить вопрос электроснабжения. На данный момент существует большое количество систем для организации автономного электроснабжения. Наиболее распространенные системы реализуются на основе [21]:

- дизельного или бензинового генератора с прямым подключением к 220 В;

- ветрогенераторов;

- солнечных батарей;

- автоматизированного комплекса из инвертора, аккумуляторных батарей и генератора;

- инверторов или источники бесперебойного питания (ИБП) с аккумуляторными батареями.

8.2. К преимуществам систем, использующих генератор, можно отнести невысокую цену и полную независимость от внешних электросетей. Недостатком является высокий уровень шума, короткий рабочий ресурс и сложность технического обслуживания.

8.3. Альтернативные источники энергии (ветрогенераторы и солнечные батареи) полностью автономны и не требуют каких-либо топливных затрат. Недостатками являются высокая стоимость систем, зависимость от погодных условий, в ряде случаев – охранные мероприятия, а также сложность монтажа.

8.4. Системы, организованные при помощи инверторов или ИБП с аккумуляторными батареями, имеют несколько преимуществ:

* практически мгновенное включение резервного электропитание без каких-либо разрывов при внезапном отключении электричества;
* возможность установления в любом, даже в жилом или непроветриваемом помещении;
* отсутствие шумов и выхлопных газов;
* они не требуют постоянного контроля и частого обслуживания, длительный рабочий ресурс;
* максимально эффективно расходуют энергию в зависимости от нагрузки;
* доступная цена.

Недостатком является ограниченное время работы, зависящее от емкости аккумуляторов. При этом аккумуляторы в режиме ожидания необходимо постоянно подзаряжать от электросети, что приводит к дополнительному расходу электроэнергии. Нет возможности длительной работы инверторов при высоких нагрузках и повышенных мощностях.

Для решения этой проблемы применяются системы, в основе которых лежат автоматизированные комплексы из инвертора, аккумуляторных батарей и генератора. Генератор автоматически включается при разрядке батарей, одновременно обеспечивая подачу электроэнергии и зарядку аккумуляторов, что значительно сокращает расходы на топливо и позволяет организовать полностью автономную систему энергоснабжения.

8.5. Выбор той или иной схемы электроснабжения определяется решаемыми задачами, имеющемся финансировании и непосредственными условиями в районе установки сейсмической станции.

*Рекомендации:* наиболее экономически выгодной для условий Крайнего Севера является система, организованная при помощи автоматизированного комплекса из инвертора, аккумуляторных батарей и генератора.

**сПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Аппаратура и методика сейсмометрических наблюдений в СССР / Под ред. [Ж.И. Аранович](http://www.google.ru/search?hl=ru&tbo=p&tbm=bks&q=inauthor:%22%D0%96.+%D0%98.+%D0%90%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87%22&source=gbs_metadata_r&cad=3), [Д.П.Кирнос](http://www.google.ru/search?hl=ru&tbo=p&tbm=bks&q=inauthor:%22%D0%94%D0%BC%D0%B8%D1%82%D1%80%D0%B8%D0%B9+%D0%9F%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87+%D0%9A%D0%B8%D1%80%D0%BD%D0%BE%D1%81%22&source=gbs_metadata_r&cad=3), [В.М. Фремд](http://www.google.ru/search?hl=ru&tbo=p&tbm=bks&q=inauthor:%22%D0%92.+%D0%9C.+%D0%A4%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%B4%22&source=gbs_metadata_r&cad=3). М.: Наука, 1974. 242 с.
2. Велком-Сибирь [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.velcom-s.ru> (Дата обращения 18.06.2013)
3. Высокочувствительные сейсмические датчики линейного и вращательного движения, разработанные на основе инновационной молекулярно-электронной технологии [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.r-sensors.ru/> (Дата обращения 18.06.2013)
4. Герда [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://gerda.ru/> (Дата обращения 18.06.2013)
5. Интеллектуальные системы автоматизации технологии [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.insat.ru> (Дата обращения 18.06.2013)
6. Кабельно-проводниковая продукция, продажа из наличия и под заказ [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://slavcabel.ru> (Дата обращения 18.06.2013)
7. Капустян Н.К., Юдахин Ф.Н. Сейсмические исследования техногенных воздействий на земную кору и их последствий. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 416 с.
8. Компания ООО ТД "Югтелекабель" [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.yugtelekabel.ru/> (Дата обращения 18.06.2013).
9. Мехрюшев Д.Ю. Аппаратурные разработки Геофизической Службы РАН // Национальный отчет Международной ассоциации сейсмологии и физики недр Земли Международного геодезического и геофизического Союза 2003–2006. М.: Национальный геофизический комитет РАН, 2007. С. 15-17.
10. Мишаткин В.Н., Захарченко Н.З. Проблема сертификации сейсмических станций // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Второй региональной научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2010. с. 278-282.
11. Отбойные молотки [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://wackn.ru/cat/3_1/> (Дата обращения 18.06.2013).
12. Портативная цифровая компьютезированная сейсмологическая станция «ДИОГЕН-Х/24S» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ntkdiogen.ru/terra.html> (Дата обращения 24.06.2013)

# Промышленный сейсмический регистратор ZET048-I [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.zetms.ru/catalog/Seismo/registrator.php> (Дата обращения 18.06.2013)

1. Регистраторы и дигитайзеры [Электронный ресурс] – Режим доступа:<http://www.vulcan-seismicsystems.com/geosig_katalog.php#registr> (Дата обращения 24.06.2013)
2. Сбор данных [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.krsc.ru/defmon.htm> (Дата обращения 18.06.2013)
3. Сейсмологические исследования в арктических и приарктических регионах / Под ред. чл.-корр. Ф.Н. Юдахина. Екатеринбург: Изд. УрО РАН, 2011. 243 с.
4. Сейсмоприемник СМ3-КВ – Короткопериодный электронный сейсмоприемник СМ3-КВ [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.expo.ras.ru/base/prod_data.asp?prod_id=2523> (Дата обращения 18.06.2013)
5. СНиП II-7-81\* Cтроительство в сейсмичных районах [Текст]: нормативно-технический материал. – Москва: ФГУП ЦПП, 2007 – 44 с. + прил. 2: 10 карт
6. СТО 70238424.27.140.032-2009 Гидроэлектростанции в зонах с высокой сейсмической активностью геодинамический мониторинг гидротехнических сооружений. Нормы и требования [Текст]: нормативно-технический материал. – Москва: НП «ИНВЕЛ»**,** 2009 – 59 с.
7. СТО 95 103 – 2013 Руководство по методике комплексного инженерно-сейсмометрического и сейсмологического мониторинга состояния конструкций зданий и сооружений, включая площадки их размещения [Текст]: нормативно-технический материал. – Москва: СРО НП «СОЮЗАТОМГЕО», 2013 – 40 с.
8. Типы систем автономного энергоснабжения: преимущества и недостатки [Электронный ресурс] – Режим доступа:<http://tok-shop.ru/auxpage_tipy-sistem-avtonomnogo-energosnabzhenija/> (Дата обращения 18.06.2013)
9. Удаленный регистратор сейсмических сигналов АDAS3. Технические условия. ТУ 4314-71332728-003-2013. Москва: ООО «Алекс Лаб», 2013 – 23 с.
10. Уломов В.И. Макросейсмический режим и дифференцированная оценка сейсмических воздействий // Геориск. № 3. М.: [Геомаркетинг](http://elibrary.ru/publisher_titles.asp?publishid=8148), 2009. С. 16-19.
11. Юдахин Ф.Н., Капустян Н.К., Антоновская Г.Н. Инженерно-сейсмические исследования геологической среды и строительных конструкций с использованием ветровых колебаний зданий. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 156 с.

# Guralp Systems [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.guralp.com/> (Дата обращения 18.06.2013)

1. Kinemetrics [Электронный ресурс] – Режим доступа:[http://www.kmi.com](http://www.kmi.com/) (Дата обращения 18.06.2013)
2. Nanometrics [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.nanometrics.ca](http://www.nanometrics.ca/) (Дата обращения 18.06.2013)
3. Satellite Mobile Comms [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.satdata.ru/> (Дата обращения 18.06.2013).
4. WiFi оборудование [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.winsbs.ru](http://www.winsbs.ru/) (Дата обращения 18.06.2013)
5. WiFi оборудование для организации беспроводных сетей [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.shop-wifi.ru/> (Дата обращения 18.06.2013)
6. Свидетельство об утверждении типа средств измерений. RU. С.28.001.А № 49110. 28.12.2012