

## СИСТЕМА СБОРА, ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ОБНОВЛЕНИЯ ДОРОЖНОЙ СЕТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

---

*Разработана мобильная комплексная система сбора, обработки и анализа геопространственных данных для обновления дорожной сети с использованием спутниковых технологий. Система предназначена для полевого обследования автомобильных дорог и придорожных объектов с целью обновления топографических и навигационных карт.*

*Разработанный комплекс построен на базе автомобильного компьютера CarPC, GPS-приемника навигационного класса и специального программного обеспечения. Экспериментально обоснована возможность использования подобных приемников для решения картографических задач. Таким образом, удалось создать не дорогой и технологичный программно-технический комплекс для решения данного класса задач.*

### Введение

**В** комплексе работ по обновлению топографических карт, созданию цифровых карт открытого пользования и навигационных карт, выполняемых предприятиями Роскартографии, одним из важнейших элементов обновления является сеть автомобильных дорог и комплекс объектов дорожной инфраструктуры и придорожного сервиса.

---

<sup>1</sup> Говор Вадим Иванович – канд. техн. наук, зав. лаб. ЛИКС (лаборатории информационных и кадастровых систем) Примор. АП (аэрогеодезического предприятия).

Сивченко Владимир Владимирович, ст. преп. каф. электроники ВГУЭС.

Специальность 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами и системами»

Игнатюк Виктор Александрович – проф. каф. электроники ВГУЭС, д-р физ.-мат. наук.

e-mail: viktor.ignatuk@vvsu.ru

Несмотря на то, что основным источником информации для обновления является аэрофото- и космосъемка, эти материалы зачастую не дают представления о состоянии автомобильных дорог или возможности проезда по ним на том или ином виде транспорта

Поэтому самым надежным источником информации об автодорожной инфраструктуре является непосредственное полевое обследование автодорог. Спутниковые навигационные технологии позволяют радикально повысить эффективность и качество выполнения таких работ. Цифровые данные по координатам осевых линий автодорог, объектам дорожной инфраструктуры и придорожного сервиса после минимальной обработки могут быть использованы для обновления топографических карт и создания специализированных навигационных карт.

На протяжении 2007 года Приморское АГП по поручению Роскартографии выполняло опытно-конструкторскую работу по созданию программно-технического комплекса для выполнения работ по полевому обследованию автомобильных дорог, придорожных объектов и сооружений в целях обновления топографических и навигационных карт с использованием спутниковой навигации. Такой комплекс, предназначенный для установки на автомобиль, должен включать в себя аппаратную часть (компьютер и навигационный приемник), цифровую карту обследуемой территории и программное обеспечение, позволяющее проектировать выполняемые работы, осуществлять контролируемую запись необходимой информации в процессе выполнения работ и обрабатывать полученные данные для передачи их в камеральное производство. Для этого необходимо было:

- определить оптимальный состав технических средств и спутникового навигационного оборудования. Под оптимальностью понимается подбор технологичного и надежного в эксплуатации вычислительного и спутникового навигационного оборудования, обеспечивающего решение поставленных задач, при минимальной стоимости такого комплекта;
- разработать технологию и методические указания по планированию работ, сбору и обработке полевых материалов;
- разработать необходимое программное обеспечение;
- провести опытную эксплуатацию программно-технического комплекса.

По результатам проведенных работ в качестве вычислительного блока предлагается использовать специализированный автомобильный безвентиляторный виброустойчивый компьютер типа CarPC «Sumicom S625» производства Тайвань. Он представляет собой полноценный компьютер класса Pentium 4, работает под управлением WindowsXP и предназначен специально для установки и эксплуатации в автомобилях. С компьютером поставляются мониторы от 7 до 10 дюймов, которые могут быть установлены на приборной панели автомобиля. Стоимость такого комплекта составляет около 25 000 рублей.

Критерии выбора GPS-приемника. Экспериментальные испытания точностных характеристик GPS-приемников навигационного класса.

Одной из задач ОКР является экспериментальное обоснование возможности использования GPS-приемников навигационного класса для сбора полевых данных, предназначенных для обновления топографических карт масштаба 1:25000-1:100000, создания открытых цифровых карт и навигационных карт.

Согласно «Основным положениям по созданию и обновлению топографических карт масштабов 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000 » [1] «... средние ошибки в плановом положении изображений объектов и четких контуров местности ... не должны превышать 0.5 мм ...». Таким образом, координаты осевых линий автомобильных дорог, объектов дорожной инфраструктуры и придорожного сервиса должны быть получены с точностью не хуже 0,5 мм в масштабе создаваемой (обновляемой) карты (табл. 1) использования различных GPS-приемников навигационного класса, полученный Приморским АГП за время работ по созданию мобильных навигационных систем, говорил о том, что такие приемники удовлетворяют по точности указанным критериям. Но для того, чтобы можно было обоснованно рекомендовать GPS-приемники навигационного класса для использования при обновлении топографических карт, необходимо провести исследование точностных характеристик таких приемников.

Таблица 1

Таблица точностных характеристик по масштабам:

	Масштаб	Точность, метры
Опыт	1:10 000	5
	1:25 000	12.5
	1:50 000	25
	1:100 000	50

По результатам исследования должны быть приняты рекомендации по моделям GPS-приемников и условиям их применения. Для этого необходимо провести исследование приемников разных моделей. Учитывая поставленную задачу, как задачу получения координат точек (осевых линий дорог и придорожных объектов) в условиях автомобильной навигационной системы, был проведен анализ существующих GPS-приемников навигационного класса. Критериями отбора были:

- технологичность, удобство и надежность установки приемника в автомобиле;
- возможность питания приемника от бортовой сети автомобиля;
- объем памяти для записи треков и путевых точек;

- качество приема сигналов от спутников; наличие внешней антенны;
- цена

В результате анализа существующих GPS-приемников были выбраны приемники в исполнении OEM-модулей, которые не имеют собственной памяти для записи получаемых координат, а непрерывно передают данные в формате NMEA на подключенный к ним компьютер через COM-порт, USB-порт, PCMCIA-порт или Bluetooth-канал. Такие приемники:

- 1) технологичны, так как исполняются либо в одном корпусе с антенной и устанавливаются снаружи автомобиля на магните, либо имеют внешнюю антенну;
- 2) как правило, не имеют собственных батарей или аккумулятора, а получают питание непосредственно от подсоединенного компьютера;
- 3) практически не имеют ограничений на объем получаемых данных, так как их накопление происходит в подсоединенном компьютере;
- 4) новые модели приемников оснащены GPS-чипсетом нового поколения SiRFStarIII, обеспечивающим улучшенный прием сигналов в условиях плохой видимости спутников;
- 5) имеют наименьшую стоимость, так как не имеют экрана, собственной памяти и клавиатуры.

Для проведения исследований точностных характеристик были отобраны следующие модели GPS-приемников: GlobalSat BU-353, GlobalSat BT-338, Leadtek 9559x, GlobalSat MR-350. В испытаниях также участвовали GPS-приемниками Mobile Mapper (4 комплекта), поскольку эти модели имеются во многих предприятиях Роскартографии.

Цели проведения испытаний могут быть сформулированы следующим образом:

1. Определение возможности использования GPS-приемников навигационного класса для получения осевых линий автодорог в кинематическом режиме. Определение оптимальных условий получения данных (модель приемника, скорость и условия движения), требований к программному обеспечению.
2. Определение возможности использования GPS-приемников навигационного класса для получения координат объектов дорожной инфраструктуры и придорожных объектов в кинематическом режиме. Определение оптимальных условий получения данных (модель приемника, скорость движения и условия фиксирования данных), требований к программному обеспечению.
3. Исследование приемников Mobile Mapper: точностные характеристики, синхронная работа в стационарном и кинематическом режимах.

#### **Методика проведения испытаний**

Предложенная методика состоит в сравнении координат точек, получаемых от GPS-приемников навигационного класса в статическом и кинематическом режимах, с координатами этих же точек, получаемых от



геодезического GPS-приемника, работающего в дифференциальном режиме относительно базовой станции.

Такое сравнение выполняется в трех режимах:

**Статический режим.** Выполняется установка контрольных точек, координаты которых определяются геодезическим приемником в дифференциальном режиме относительно базовой станции (погрешность определения координат не превышает 10 см). На контрольных точках выполняются измерения координат испытуемыми GPS-приемниками. Время измерения – 10 минут. Результаты обрабатываются и сравниваются с контрольными координатами.

**Кинематический режим.** Выполняется монтаж геодезического и испытуемых приемников на специальной платформе на крыше автомобиля. Выполняется движение автомобиля по автодорогам в зоне действия базовой DGPS-станции и выполняется параллельная запись координат геодезическим и испытуемыми приемниками. В режиме постобработки дифференциального режима рассчитывается трек геодезического приемника, с которым сравниваются треки испытуемых приемников.

**Установка точек в кинематическом режиме.** Данный режим моделирует запись координат объектов дорожной инфраструктуры и придорожного сервиса в процессе движения. На этапе подготовительных работ на обочине автодороги ставятся контрольные точки, координаты которых определяются геодезическим приемником в дифференциальном режиме относительно базовой станции (погрешность определения координат не превышает 10 см). В процессе проведения испытаний при движении мимо контрольных точек производится фиксация точек испытуемыми приемниками. Результаты обрабатываются и сравниваются с контрольными координатами.

Для выполнения испытаний была подготовлена программа испытаний, которая содержит описание состава испытуемого оборудования и порядок проведения испытаний. Для обработки результатов измерения разработано специальное программное обеспечение, которое выполняет статистическую обработку данных и формирует отчет в табличной форме.

#### **Программа испытаний**

Оснащение:

- Автомобиль УАЗ (фургон)
- Базовая DGPS-станция
- Геодезический GPS-приемник (ровер)
- ПК CarPC «Sumicom S625» в комплекте – 1 компл.
- ПК типа Notebook – 2 шт.
- Блок прикуривателей – 3 шт. для питания ноутбуков.
- Инверторы для питания ноутбуков – 3 шт.

Навигационные приемники для испытаний:

- |  |         |
|--|---------|
| Mobile Mapper (COM-порт)                     | - 4 шт. |
| GlobalSat BU-353 (USB-порт, внешняя антенна) | - 2 шт. |

GlobalSat BT-338 (BlueTooth-канал)	- 2 шт.
Leadtek 9559 (Blue Tooth, внешняя антенна)	- 1 шт.
GlobalSat MR-350 (COM-порт, внешняя антенна)	-1 шт.

Все испытываемые приемники (кроме Mobile Mapper) оснащены GPS-чипсетом нового поколения SiRFstarIII, обеспечивающим улучшенный прием сигналов в условиях плохой видимости спутников.

Антенна геодезического приемника, приемники Mobile Mapper и внешние антенны навигационных приемников были смонтированы на специальной платформе, установленной на крыше автомобиля. Приемники GlobalSat BT-338 не предусматривают работу с внешней антенной, в связи с чем один приемник был установлен на платформе на крыше автомобиля (в условиях хорошей видимости спутников), второй - в салоне автомобиля под лобовым стеклом.

Все испытываемые навигационные приемники (кроме Mobile Mapper) относятся к классу OEM-модулей, т.е. не имеют собственной памяти для записи получаемых координат, а непрерывно передают данные в формате NMEA на подключенный к ним компьютер через COM-порт, USB-порт, PCMCIA-порт или BlueTooth-канал. Приемники Mobile Mapper могут передавать данные в формате NMEA на подключенный к ним компьютер через COM-порт, либо выполнять запись во внутреннюю память. В условиях эксперимента приемники Mobile Mapper выполняли запись во внутреннюю память.

### Порядок проведения испытаний

Испытания проводились на полигоне и на на автомобильных дорогах.

На полигоне в районе пос. Кневичи:

1. Движение по эталонному прямолинейному треку в прямом и обратном направлении с разной скоростью (10, 20, 40, 60) с целью определения зависимости ширины коридора (разброс точек трека) от скорости.
2. Вхождение через эталонную точку в поворот 90 градусов с разной скоростью с целью определения зависимости «вылета» точек от скорости.
3. Прохождение по замкнутому контуру (окружность) с разной скоростью: в прямом направлении, в обратном направлении с целью определения зависимости ширины коридора (разброс точек трека) от скорости.
4. Простановка путевых точек WPT в положении «на ходу» (движение с разной скоростью) и в положении «неподвижно» в одном и том же месте (эталонная точка). Цель:
  - определение точности фиксации координат; определение величины задержки по времени при разной скорости движения.
5. Запись координат в стационарном режиме (30 мин.). Цель: определение «облака» координат в стационарном режиме, определение синхронной работы приемников Mobile Mapper в стационарном режиме.

На автомобильных дорогах:

Маршрут: Кневичи - Ясное - Кролевцы - Заводской - Суражевка - Заводской - Кролевцы - Кневичи (40 км):

6. Установка приемника Mobile Mapper в контрольной точке и прохождение по маршруту с другим приемником Mobile Mapper. Фиксация на ходу WPT в контрольных точках.

Задача: Сравнение треков, записанных Mobile Mapper, в локальном режиме и в дифференциальном режиме.

Маршрут: Кневичи - Ясное - Кролевцы - Заводской - Суражевка - б. Муравьиная - Суражевка - Заводской - Кролевцы - Ясное - Кневичи - Вольно-Надеждинское (110 км):

7. Прохождение по маршруту на скорости 40 км/час и 60 км/час. Фиксация на ходу WPT в контрольных точках.

Задача: Сравнение треков, записанных геодезическим и навигационными приемниками в реальных условиях движения.

Результаты испытаний:

В процессе проведения испытаний с десятью GPS-приемниками были выполнены измерения на 6 контрольных точках (2 - на полигоне, 4 - на автомобильных дорогах) и записаны треки движения протяженностью 86 км. После постобработки трека геодезического приемника с данными базовой DGPS-станции были получены координаты 416 точек линии движения, относительно которых были определены величины отклонений (в метрах) данных испытываемых GPS-приемников (416 значений отклонения для каждого приемника).

Ниже приведены результаты измерений по каждому приемнику и сводные результаты измерений.

Для каждого приемника указано:

- максимальное отклонение, полученное на всем массиве измерений;
- процент числа отклонений, превышающих 7.5 м (что соответствует погрешности 0.3 мм в масштаба 1:25 000);
- среднее отклонение на всем массиве измерений;
- среднеквадратичное отклонение на всем массиве измерений;
- график, показывающий распределение отклонений: зависимость числа точек (процент от общего числа измерений) от величины отклонения. По оси X показана величина отклонения координат точек, определяемых испытываемым приемником от «эталонных» координат точки, определенных геодезическим приемником (в метрах). По оси Y показано количество измерений с величиной отклонения координат точек от «эталонных» в процентном отношении от общего числа измеренных точек (в процентах).

### Определение координат контрольных точек

Один из этапов испытаний посвящен определению координат контрольных точек, фиксация которых осуществлялась в процессе движения мимо этих точек.

Число контрольных точек - 6, число измеренных точек - 46. Фиксация осуществлялась при движении в прямом и обратном направлении со скоростью 20 км/час, 40 км/час и 60 км/час.

Результаты измерений приведены в таблице, в которой показано число точек (процент от общего числа измерений), величина отклонения координат для которых лежит в пределах, указанных в первом столбце таблицы, и на графике, показывающем распределение отклонений: зависимость числа точек (процент от общего числа измерений) (ось Y) от величины отклонения (ось X).

### Выводы и рекомендации

Приведенные результаты испытаний позволяют сделать вывод о том, что все испытуемые приемники обеспечивают координирование трека движения и фиксацию путевых точек в процессе движения со средне-квадратичной погрешностью не хуже 5,0 м. Максимальные отклонения измерений не превышали 9,0 м, отклонения более 7,5 м составили менее 3% измерений.

Таким образом любые из описанных выше GPS-приемников навигационного класса могут быть использованы для сбора полевых данных по осевым линиям автодорог, объектам дорожной инфраструктуры и придорожного сервиса, предназначенных для обновления топографических карт масштаба 1:25000 - 1:100000, создания открытых цифровых карт и навигационных карт.

Анализ полученных результатов показывает, что три из четырех приемников Mobile Mapper дают среднеквадратичную погрешность в пределах 1,0 м, максимальное отклонение менее 5,0 м, 91% измерений лежит в пределах 2,0 м. Таким образом эти приемники могут быть использованы для обновления карт масштаба 1:10 000 и 1:5 000, даже без дифференциального режима. Только один из приемников Mobile Mapper (который был приобретен ранее других) показал несколько худшие результаты, но тоже может быть использован для обновления карт масштаба 1:10 000.

В результате анализа материалов испытаний было обнаружено следующее:

1. Максимальные отклонения треков движения для всех приемников, кроме Mobile Mapper, были отмечены в местах изменения направления движения (на поворотах). По-видимому, навигационные приемники в процессе движения корректируют координаты своего местоположения, исходя из направления и скорости движения. При изменении направления движения происходит инерционное запаздывание и переход к новому направлению движения через 5-10 секунд, в зависимости от скорости движения. Такая особенность навигационных приемников должна учитываться при записи треков движения: рекомендуется снижать скорость до 30-40 км/час при приближении к повороту.

Приемники Mobile Mapper не вносят таких искажений в треки движения.



2. При фиксации координат контрольных точек в процессе движения обнаружено запаздывание получения координат от навигационных приемников. Анализ показал, что величина этого запаздывания составляет порядка одной секунды и присутствует во всех измерениях. При введении поправки в зафиксированные координаты точки на одну секунду (времени) по направлению движения были получены результаты, приведенные выше. В связи с этим в программное обеспечение была добавлена опция, которая задает автоматическое введение поправки непосредственно в процессе движения и записи координат (постобработка в этом случае не требуется). Были проведены дополнительные измерения с исправленным программным обеспечением, которые показали, что точность фиксации координат точек без какой-либо постобработки составляет не хуже 5.0 м. Характеристики приемников позволяют получить более высокую точность, но наибольшую ошибку вносит оператор, фиксирующий (вручную) точки в процессе движения. В связи с этим рекомендуется выполнять фиксацию контрольных точек при движении со скоростью не более 60 км/час. На этой скорости при реакции оператора не хуже 0,5 секунды погрешность фиксации точки составит не хуже 12 м.

Проведенные исследования позволяют рекомендовать любые из испытанных приемников для сбора полевых данных по осевым линиям автодорог, объектам дорожной инфраструктуры и придорожного сервиса, предназначенных для обновления топографических карт масштаба 1:25000 – 1:100000, создания открытых цифровых карт и навигационных карт. Получаемая погрешность определения координат любым из приемников заведомо ниже допустимых отклонений. В связи с этим предпочтение можно отдавать более технологичным моделям. Таковым, на наш взгляд, является GlobalSat MR350:

- приёмник (на чипсете SiRFStar III) вместе с антенной смонтирован в небольшом герметичном корпусе и обеспечивает высокое качество принимаемого GPS-сигнала;
- предусмотрено надежное крепление на гайке;
- длинный (4,5 м) интерфейсный кабель;
- универсальным разъём типа PS/2, к которому выпускаются адаптеры для COM или USB порта компьютера, или для разных моделей КПК;
- электропитание осуществляется через интерфейсный универсальный разъём типа PS/2;
- цена менее 3000 руб.

Опытная эксплуатация программно-технического комплекса.

Программно-технический комплекс, установленный на автомобиль, проходил опытную эксплуатацию в течении 3-х месяцев. В процессе опытной эксплуатации испытывались разные модели навигационных GPS-приемников и программное обеспечение, дорабатываемое во время эксплуатации по получаемым замечаниям и предложениям.

Эксплуатация комплекса выполнялась на автомобильных дорогах Приморского края различных категорий: от автомагистралей до полевых

дорог. Общая протяженность записанных треков составила более 7800 км, закоординировано 7100 объектов дорожной инфраструктуры и придорожного сервиса. Общее время работы программно-технического комплекса в режиме записи данных составило 162 часа. Схема записанных маршрутов приведена на рис. 1.

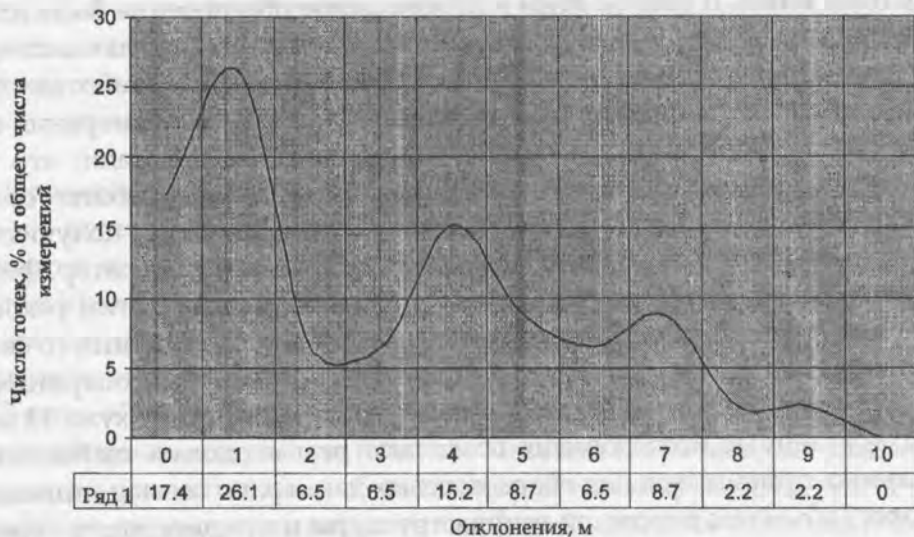


Рис. 1. Отклонения на контрольных точках

Комплекс показал высокую надежность – за время эксплуатации не зафиксировано ни одного сбоя аппаратных средств.

По материалам опытной эксплуатации был проведен анализ записанных маршрутов с целью определения повторяемости при прохождении одних и тех же дорог в одном направлении. Такой анализ дает косвенное подтверждение корректности определения координат навигационными приемниками. Методика анализа состояла в том, что один из треков принимался за базовый и определялись величины отклонений координат точек анализируемых треков относительно базового. По результатам анализа 500 км автодорог, записанных разными приемниками в разное время года и суток, получены следующие результаты:

- максимальное различие координат точек анализируемых и базового треков – 8,2 м;
- среднее отклонение – 2,4 м.

Полученные данные подтверждают выводы, полученные по результатам экспериментальных исследований точностных характеристик GPS-приемников навигационного класса, описанных выше.

Описанная система сбора геопространственных данных находится в эксплуатации на дорогах Приморья уже более двух лет. За это время не было ни одного отказа системы. Кроме этого, система была успешно апробирована на дорогах Красноярского края и Ростовской области.



Разработанное программное обеспечение является достаточно универсальным и уже имеет более широкое применение, чем только обследование автомобильных дорог. Могут быть названы такие применения системы, как:

- установка буев по линии государственной границы на озере Ханка;
- использование в работах на шельфе Японского моря при выполнении морских промеров и выводе на точки платформ для геологического бурения;
- обеспечение задач навигации при оперативной пеленгации источников радиоизлучения.

Имеется опыт применения программы для мониторинга подвижных объектов и использование ее в составе охранных систем.

ПримGPS/ГЛОНАСС опробована в вертолете при посещении правительственной делегацией Приморского края. По нашему мнению, система вполне может быть использована при выполнении аэрофотосъемки для контроля движения летательного аппарата по маршруту.

Подготовлен коммерческий вариант системы с картой Приморского края для открытой продажи населению: за полтора года реализовано около тысячи инсталляций.

Фактически, предлагается недорогой и технологичный программно-технический комплекс спутниковой навигации, который может быть использован для получения полевых данных по автодорогам и придорожным объектам в целях обновления топографических карт масштаба 1:25000 - 1:100000 и создания навигационных карт.

---

1. Говор, В.И. Многофункциональная мобильная навигационная система на базе «CarPC» / В.И. Говор, В.В. Сивченко, В.А. Игнатюк // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2008, № 5.

2. Говор, В.И. Геоинформационная система с поддержкой навигации «ПримаВиста» / В.И. Говор, В.В. Сивченко // Номер государственной регистрации: 50200700540. Дата регистрации: 13 марта 2007 года.

3. Сивченко, В.В. Программа персонального мониторинга «2G System. Client» / В.В. Сивченко, Е.Д. Уханов // Номер государственной регистрации: 50200700538. Дата регистрации: 13 марта 2007 года.

4. Govor, V.I., Sivchenko, V.V. Geographic information system with support of navigation. The magazine Computing teaching programs and innovation, 2007г., № 9.

5. "Accuracy test of Consumer Grade GPS Receivers" by David Doyle 11/08/2003 updated 04/06/2005. <http://www.doylesdartden.com/gis/gpctest.htm>

6. Bradford, W. Parkinson and James J. Spolker Jr., Global Positioning System: Theory and Applications, vol.1, AIAA, 1996.

Сводные результаты испытаний

Число точек (процент от общего числа измерений), отклонения на которых лежат в указанных пределах.