

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ НАВИГАЦИОННЫМ ПРИЕМНИКОМ В ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОМ РЕЖИМЕ**

А. Горб

НПП “Навигационно-геодезический центр”, г. Харьков

А. Нестерович

ОАО “Научно-исследовательский институт радиоизмерений” (НИИРИ), г. Харьков

Р. Федоренко

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”

### **Введение**

В настоящий момент времени существует множество приложений, в которых требуется определить координаты точек с дециметровым – метровым уровнем точности. Необходимость в измерении координат точек с дециметровым – метровым уровнем точности возникает при решении задач лесоустройства [1], сельского хозяйства [2], мониторинга состояния окружающей среды, навигации транспортных средств, навигации морских и речных судов, создании геоинформационных систем и картографии. Для решения некоторых из перечисленных задач требуется определение координат в реальном масштабе времени.

### **Анализ последних достижений**

Определить координаты точек с дециметровым – метровым уровнем точности можно с помощью оптико-электронного геодезического оборудования, спутникового геодезического оборудования и методов дистанционного зондирования земли. Однако использование перечисленного оборудования не всегда целесообразно, в первую очередь из-за высокой стоимости как самого оборудования, так и работ по определению координат точек. В этом случае можно использовать навигационные GPS-приемники в дифференциальном режиме. Для реализации дифференциального режима необходимо как минимум два навигационных приемника. Один из приемников устанавливается на точку с известными координатами и выполняет роль базовой станции. Такой приемник должен передавать поправки мобильному приемнику в формате RTCM. Как правило, передача поправок осуществляется с помощью УКВ-модемов. Однако в этом случае возникают трудности, связанные с необходимостью регистрации частоты. Кроме того, использование УКВ-модемов приводит к удорожанию комплекта оборудования и усложнению измерений. В связи с этим более приемлемым является другой способ передачи корректирующих поправок. В качестве источника корректирующих поправок можно использовать информацию от перманентных базовых GPS-станций, установленных НИИРИ [3]. Сформированная этими станциями корректирующая информация размещается на NTRIP-кастере. Доступ к этим данным может быть осуществлен с помощью мобильного коммуникатора по технологии GPRS. Навигационный приемник связывается с коммуникатором через Bluetooth или COM-порт и получает от него дифференциальные поправки в формате RTCM. Вычисленные координаты и вспомогательная информация передаются из приемника в коммуникатор в формате NMEA [4]. Установленное в коммуникаторе специализированное ПО отвечает за организацию вышеперечисленных операций. Схематически на рис. 1 показан принцип работы навигационного приемника в таком режиме.

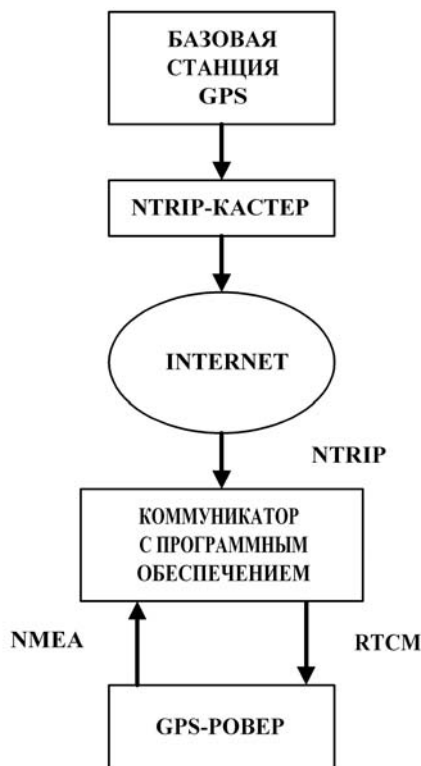


Рис. 1. Принцип работы навигационного приемника в дифференциальном режиме

**Необходимо отметить, что существуют два варианта работы с дифференциальными поправками, предоставляемыми НИИРИ:**

**а) локальная дифференциальная коррекция (сообщение 1) – GPS-приемник получает поправки от ближайшей базовой станции GPS;**

**б) широкозонная дифференциальная коррекция (сообщение 59) – GPS-приемник получает поправки в виде площадных параметров коррекции (ФКР), рассчитанных на основе данных измерений от нескольких (трех и более) базовых станций. Недорогие навигационные GPS-приемники не обладают возможностью работы с ФКР. В связи с этим на программное обеспечение коммуникатора ложится дополнительная задача преобразования такой поправки в стандартное сообщение 1 формата RTCM. Широкозонная дифференциальная коррекция позволяет работать в дифференциальном режиме на значительном удалении от отдельных базовых станций, но в пределах многоугольника, вершинами которого являются эти станции.**

### **Постановка задачи**

Целью выполненных исследований являлась отработка технологии определения координат навигационным приемником при реализации локальной и широкозонной дифференциальной коррекции. Также интерес представляет оценка точности определения координат точек навигационным приемником в зависимости от расстояния до базовой GPS-станции.

Экспериментальное исследование точностных характеристик местоопределения пользователя с использованием локальных и широкозонных поправок производилось на различных расстояниях от контрольно-корректирующей станции, расположенной в городе Харькове. Места экспериментов выбирали так, чтобы исследования проводились внутри многоугольника образованного контрольно-корректирующими станциями, установленными НИИРИ (Харьков, Евпатория, Чернигов, Дунаевцы). Это связано с тем обстоятельством, что зона действия широкозонной дифференциальной коррекции ограничивается сторонами многоугольника, в вершинах которого установлены

станції. Поэтому большая часть экспериментальных исследований производилась в западном и южном направлениях относительно контрольно-корректирующей станции (ККС-1), расположенной в Харькове. В частности, экспериментальные исследования точностных характеристик местоопределения пользователя с использованием локальных и широкозонных поправок осуществлялись в таких населенных пунктах:

- а) Харьков (расстояние от ККС-1 – 7 км);
- б) Липцы (расстояние от ККС-1 – 20 км);
- в) Люботин (расстояние от ККС-1 – 30 км);
- г) Валки (расстояние от ККС-1 – 50 км);
- д) Красноград (расстояние от ККС-1 – 90 км);
- е) Зачепиловка (расстояние от ККС-1 – 110 км);

Кроме того, в Чугуевском районе Харьковской области на расстоянии порядка 40 км от ККС-1 был дополнительно выполнен эксперимент по исследованию точностных характеристик местоопределения пользователя при использовании локальной дифференциальной коррекции.

### Состав испытательного стенда

Для оценки точностных показателей местоопределения пользователя при отработке технологии локальной и широкозонной дифференциальной коррекции был собран испытательный стенд (рис. 2).

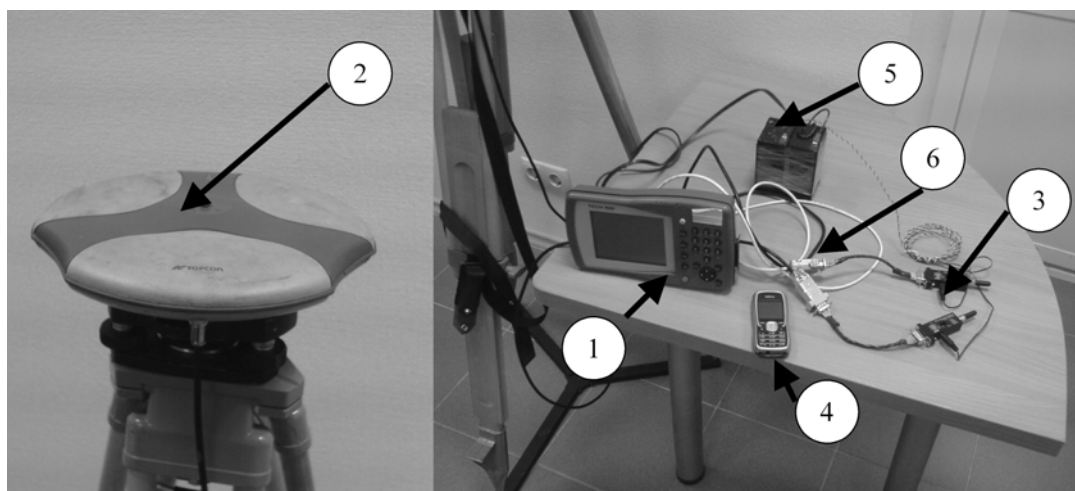


Рис. 2. Элементы испытательного стенда:

- 1 – навигационный GPS-приемник; 2 – внешняя GPS-антенна; 3 – внешние модули Bluetooth;
- 4 – мобильный коммуникатор с установленным программным обеспечением NtripClient;
- 5 – источник питания; 6 – интерфейсные и соединительные кабели

Экспериментальные исследования велись с использованием двух типов навигационных GPS-приемников: OEM модуля A12 и FX324 Map фирмы Magellan. В первом случае координаты определяемых точек записывались во внутреннюю память мобильного коммуникатора, во втором случае во внутреннюю память GPS-приемника. Результаты, полученные при использовании OEM модуля A12 и FX324 Map, практически идентичны.

В качестве внешней GPS-антенны использовалась антенна LegAnt производства фирмы Topcon Positioning Systems.

Связь между мобильным коммуникатором и GPS-приемником осуществлялась по технологии Bluetooth. При этом использовались два внешних Bluetooth модуля – Parani SD100. Один из модулей применялся для ввода RTCM поправок в приемник. Второй модуль для выдачи из приемника сообщений в формате NMEA. Оба модуля подключались к внешним портам приемника по протоколу RS232.

Для передачи корректирующей информации с Ntrip-кастера использовался мобильный коммуникатор с разработанным в НИИРИ программным обеспечением "NtripClient". Связь с кастером осуществлялась по GSM-каналу в формате GPRS. Кроме того, во внутреннюю память коммуникатора записывались результаты измерения координат определяемых точек. Во время экспериментальных исследований в качестве мобильного коммуникатора использовался смартфон Nokia 5500 Sport с операционной системой Symbian OS 9.1.

Электроснабжение элементов испытательного стенда осуществлялось с помощью блока питания. С помощью интерфейсных и соединительных кабелей осуществлялось подключение элементов испытательного стенда.

### **Оценка точностных показателей местоопределения пользователя при обработке технологии локальной и широкозонной дифференциальной коррекции**

Все эксперименты выполнены в условиях открытого небосвода при углах маски 10 градусов. Антенна навигационного приемника располагалась на штативе. Штатив центрировался над точкой, координаты которой были определены с высокой точностью при помощи спутникового геодезического оборудования. Во всех случаях привязываемой точкой являлся фазовый центр антенны.

Обработка результатов осуществлялась так. С помощью программного обеспечения Pinnacle фирмы Topcon Positioning Systems [5, 6] в режиме послесекансной обработки производился расчет координат точки, на которой устанавливался навигационный приемник. Полученные таким образом координаты принимались в качестве эталонных значений. Координаты, измеренные навигационным приемником в дифференциальном режиме (как при использовании локальной дифференциальной коррекции, так и при использовании широкозонной дифференциальной коррекции), сравнивались с эталонными значениями. На каждой определяемой точке навигационным приемником производилось сто измерений координат с интервалом 2 минуты между измерениями.

Для большинства задач требуется прежде всего знание плановых координат. В связи с этим основное внимание акцентировалось на оценке определения плановых координат. Для этого измеренные и эталонные значения координат трансформировались из картографической системы координат (XYZ) в локальную систему координат (XУН), полученную на основе поперечно-цилиндрической проекции Меркатора.

Далее производились вычисления [7]. Определялись расхождения по каждой координатной компоненте:

$$\Delta X = X_{\text{эт}} - X_{\text{изм}}, \quad (1)$$

$$\Delta Y = Y_{\text{эт}} - Y_{\text{изм}}, \quad (2)$$

$$\Delta H = H_{\text{эт}} - H_{\text{изм}}, \quad (3)$$

где  $X_{\text{эт}}$ ,  $Y_{\text{эт}}$ ,  $H_{\text{эт}}$  – эталонное значение координат;  $X_{\text{изм}}$ ,  $Y_{\text{изм}}$ ,  $H_{\text{изм}}$  – измеренное значение координат.

Расхождение в плане измеренных и эталонных значений координат вычислялось по формуле:

$$\Delta XY = \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2}. \quad (4)$$

Кроме этого, вычислялись средние значения координат точки по всем измерениям и находились средние расхождения:

$$\Delta X_{\text{cp}} = X_{\text{эт}} - X_{\text{cp}}; \quad (5)$$

$$\Delta Y_{\text{cp}} = Y_{\text{эт}} - Y_{\text{cp}}; \quad (6)$$

$$\Delta H_{\text{cp}} = H_{\text{эт}} - H_{\text{cp}}; \quad (7)$$

$$\Delta XY_{\text{cp}} = \sqrt{(\Delta X_{\text{cp}})^2 + (\Delta Y_{\text{cp}})^2}. \quad (8)$$

Также были определены среднеквадратические отклонения (СКО)  $\sigma_{XY}$  оцениваемых координат относительно их средних значений и среднеквадратические ошибки  $\sigma_{XY}^o$ :

$$\sigma_{XY} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N \left( (X_n - X_{cp})^2 + (Y_n - Y_{cp})^2 \right)}{N-1}}; \quad (9)$$

$$\sigma_{XY}^o = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N \left( (X_n - X_{эм})^2 + (Y_n - Y_{эм})^2 \right)}{N}}. \quad (10)$$

По полученным результатам построены зависимости среднеквадратической ошибки определения плановых координат от расстояния до ККС-1 при локальной и широкозонной дифференциальной коррекции (рис. 3, 4).

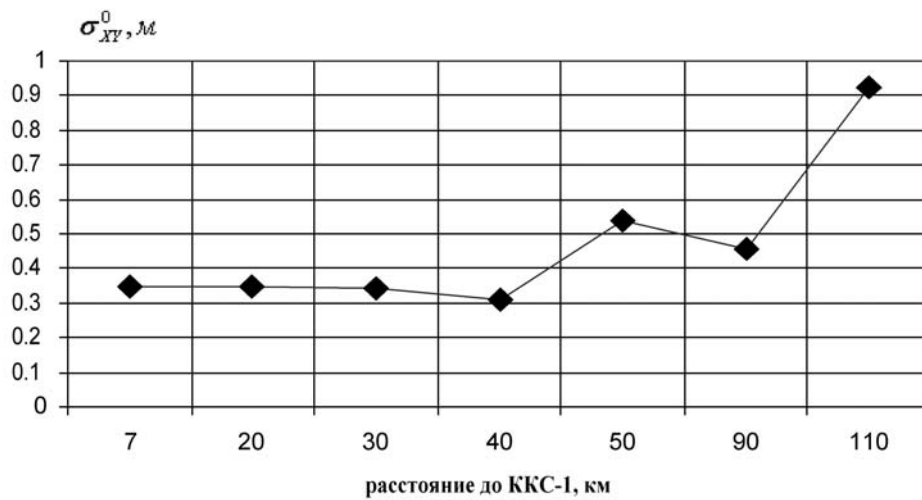


Рис. 3. Зависимость среднеквадратической ошибки плановых координат от расстояния до ККС-1 при локальной дифференциальной коррекции

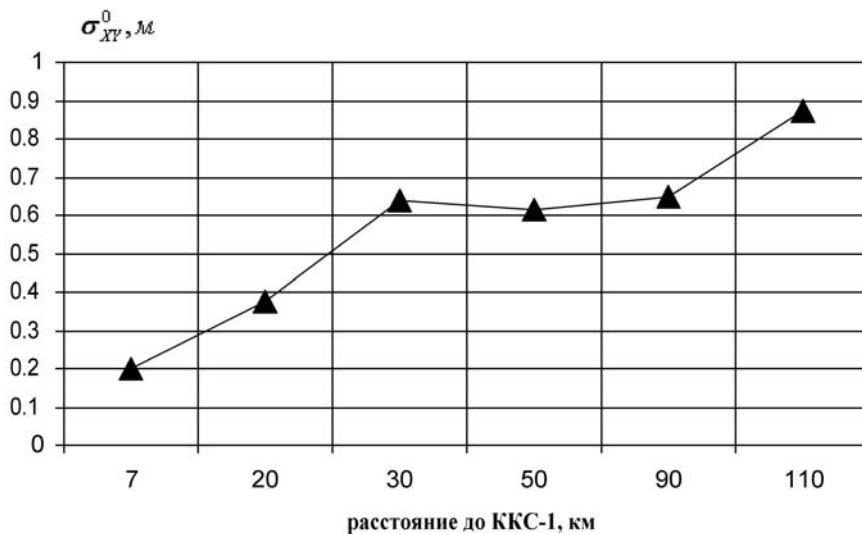


Рис. 4. Зависимость среднеквадратической ошибки плановых координат от расстояния до ККС-1 при широкозонной дифференциальной коррекции

### **Выводы**

Из результатов следует, что навигационным приемником на расстояниях до 50 км от ККС-1 как при локальных поправках, так и при широкозонных может быть достигнут дециметровый уровень точности определения плановых координат. При расстояниях до ККС-1 более 100 км навигационным приемником может быть достигнут метровый уровень точности определения плановых координат.

### **Литература**

1. <http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/index#>.
2. <http://www.agrophys.com/index.html>.
3. <http://www.khrs.kharkov.ukrtel.net/>
4. <http://www.navgeocom.ru/support/nmea/>
5. Горб А., Нежальский Р., Федоренко Р. Анализ программного обеспечения постобработки GPS-измерений в сети перманентных станций // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2005. – №. 3. – С. 70–76.
6. Горб А., Нежальский Р., Федоренко Р. Анализ точности GPS-измерений в сети базовых станций // *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. – 2006. – С. 97–102.
7. Горб А., Нестерович А., Нежальский Р., Федоренко Р. Экспериментальная оценка точности RTK-измерений // *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. – 2008. – С. 118–124.

### **Експериментальна оцінка точності визначення координат навігаційним приймачем у диференційному режимі**

О. Горб, А. Нестерович, Р. Федоренко

Наведено результати експериментальної оцінки точності визначення координат навігаційним приймачем у диференційному режимі. Описано склад програмно-апаратних засобів реалізації локальної та широкозонної корекції. Наведено результати оцінювання точності вимірювань залежно від відстані до базової станції.

### **Экспериментальная оценка точности определения координат навигационным приемником в дифференциальном режиме**

А. Горб, А. Нестерович, Р. Федоренко

Приведены результаты экспериментальной оценки точности определения координат навигационным приемником в дифференциальном режиме. Описан состав программно-аппаратных средств реализации локальной и широкозонной коррекции. Приведены результаты оценки точности измерений в зависимости от расстояния до базовой станции.

### **Experimental estimation for coordinate determination's accuracy using navigational receiver in differential mode**

A. Gorb, A. Nesterovich, R. Fedorenko

Results of experimental estimation for coordinate determination's accuracy using navigational receiver in differential mode are described in this article. Some parts of hardware and software mediums for local and wide-band correction's realization are described. Results of measurement accuracy's estimation against distance to base station are given.