

УДК 528.2:629.78

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОЧНОСТИ МЕСТООПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В СЕТЕВОМ RTK-РЕЖИМЕ

**А. Горб**

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

**Р. Федоренко**

Навигационно-геодезический центр, Харьков

**К. Шатохина**

Донецкий национальный технический университет

**Ключевые слова:** сеть ГНСС базовых станций, контрольно-корректирующая станция, RTCM-поправки, MAX, i-MAX, FKP, Virtual RS.

### Введение

Среди всех сервисов, которые предоставляют украинские сети базовых ГНСС-станций, особое место занимает выдача корректирующей информации для реализации RTK-режима. Популярность RTK-поправок может быть объяснена тем, что пользователи могут сразу в полевых условиях получать координаты интересующих точек, а их время измерения будет значительно меньше, чем в режиме постобработки. При этом пользователям предоставляется корректирующая информация, как от одиночной базовой станции сети, так и сформированная с помощью соответствующих сетевых методов. Сетевые поправки позволяют получать точные координаты на обширных площадях, избегая при этом нарастания погрешности определения местоположения при удалении от базовой станции [1].

Существуют различные способы формирования сетевых RTK-поправок: Flachen-Korrektur Parameter (FKP), Virtual Reference Station Method (VRS), метод MAX и i-MAX.

### Цель работы

Целью работы является оценка точности сетевых RTK-измерений в зависимости от расстояний между базовыми станциями, образующими сегмент сети, и взаимного расположения базовых станций сегмента сети.

### Проведение экспериментальных исследований

Для проведения экспериментальных исследований точности местопределения пользователей в сетевом RTK-режиме использовался программный комплекс GNSS Spider фирмы Leica Geosystems. Экспериментальные исследования точности проводились на основе информации, принятой со спутников базовыми станциями сети NGC.NET [2]. Связь между всеми базовыми станциями сети и сервером, на котором установлен программный комплекс GNSS Spider, осуществлялась с помощью выделенных линий связи. Информация с базовых станций в реальном масштабе времени передавалась на сервер сети в формате фирмы Leica Geosystems.

Администраторы сети объединили необходимые для проведения экспериментов базовые станции в соответствующие ячейки. В этом случае под термином “ячейка” следует понимать сегмент сети, включающий те или иные базовые станции. Ячейка может состоять из трех и более смежных базовых станций. Далее на NTRIP кастере сети были созданы точки монтирования, с помощью которых пользователи могли получить доступ к сетевым поправкам, сформированным базовыми станциями той или иной ячейки. Для доступа пользователей к NTRIP кастеру были созданы соответствующие учетные записи.

Экспериментальные исследования проводились в таких ячейках сети:

1. Сегмент сети, состоящий из базовых станций, установленных в населенных пунктах: Золочев, Волчанск, Чугуев, Валки. При этом максимальное расстояние между базовыми станциями (“Валки” – “Волчанск”) составляет 107 км. Экспериментальные исследования точности определения координат пользователей с использованием сетевых RTK-поправок проводились в городе Харькове. Схематическое расположение базовых станций и мобильного приемника, образующих ячейку, представлено на рис. 1

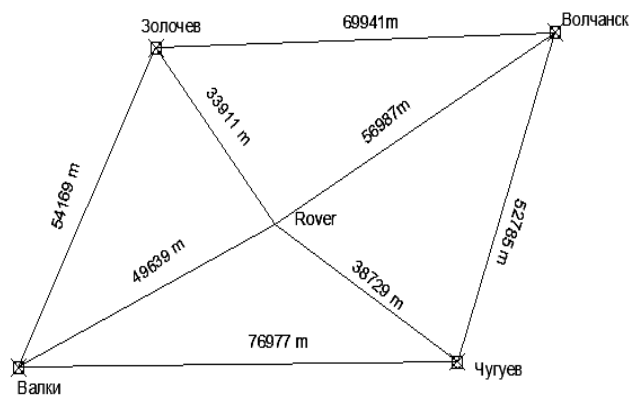


Рис. 1. Схематическое расположение базовых станций и мобильного приемника, образующих ячейку № 1

2. Сегмент сети, состоящий из базовых станций, установленных в населенных пунктах: Валки, Золочев, Волчанск, Купянск, Изюм, Первомайский. Максимальное расстояние между базовыми станциями превышает 150 км. Целью эксперимента является определение влияния расположения базовых

станций сегмента сети на точность RTK-измерений. Экспериментальные исследования точности определения координат пользователей с использованием сетевых RTK-поправок выполнены в городе Харькове на месте проведения эксперимента 1 (рис. 2).

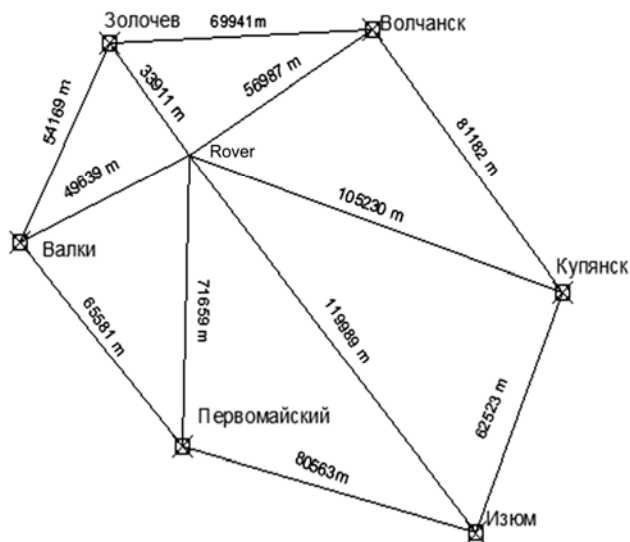


Рис. 2. Схематическое расположение базовых станций и мобильного приемника, образующих ячейку № 2

3. Сегмент сети, состоящий из базовых станций, установленных в населенных пунктах: Первомайский, Чугуев, Купянск, Изюм. Максимальное расстояние между базовыми станциями – порядка 110 км. Экспериментальные исследования точности определения координат пользователей с использованием сетевых RTK поправок проводились в геометрическом центре фигуры, образованной базовыми станциями, это Балаклеевский район Харьковской области (рис. 3).

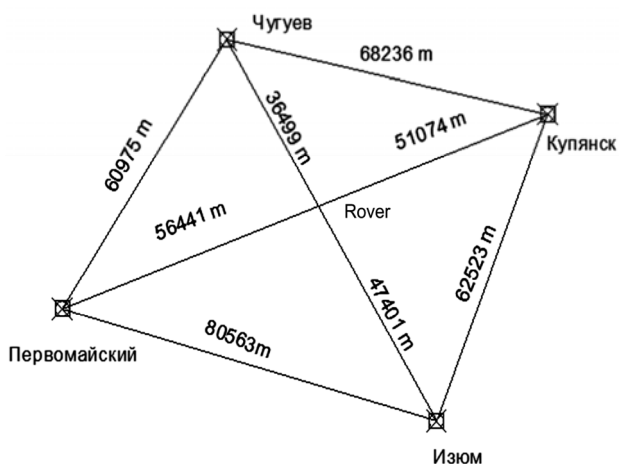


Рис. 3. Схематическое расположение базовых станций и мобильного приемника, образующих ячейку № 3

Во всех случаях при выборе районов проведения экспериментальных исследований учитывались такие факторы, как: наличие открытого небосвода и устойчивая работа GPRS-канала связи.

Для оценки точности определения координат точек с использованием сетевого RTK-режима были созданы опорные точки. С этой целью в местах проведения исследований на опорную точку устанавливался двухчастотный ГНСС-приемник, который производил накопление информации в статическом режиме работы не менее 4 часов для геодезической привязки точки. При накоплении информации во внутреннюю память приемник был настроен так: интервал записи – 5 с, угол маски – 10 градусов. Далее на опорные точки устанавливались RTK роверы, которыми производились серии RTK измерений:

1. Подключение к точке монтирования, осуществляющей передачу сетевых поправок с использованием технологии MAX. Производилась серия из не менее чем 10 измерений при ограничении каждого измерения по времени (15 эпох).

2. Подключение к точке монтирования, осуществляющей передачу сетевых поправок с использованием технологии i-MAX. Выполнена серия из не менее чем 10 измерений при ограничении каждого измерения по времени (15 эпох).

3. Подключение к точке монтирования, осуществляющей передачу сетевых поправок с использованием технологии FKP. Проведена серия из не менее чем 10 измерений при ограничении каждого измерения по времени (15 эпох).

4. Подключение к точке монтирования, осуществляющей передачу сетевых поправок с использованием технологии Virtual RS. Производилась серия из не менее чем 10 измерений при ограничении каждого измерения по времени (15 эпох).

Информация с точек монтирования, осуществляющей передачу сетевых поправок с использованием технологий Virtual RS, MAX, i-MAX, была доступна в формате RTCM 3.1. Информация с точки монтирования, осуществляющей передачу сетевых поправок с использованием технологии FKP, была доступна в формате RTCM 2.3.

Связь с NTRIP кастером сети осуществлялась с использованием мобильного Интернета компании "Киевстар".

Окончательная обработка измерений осуществлялась в офисе. Координаты опорных точек определялись путем проведения постобработки накопленных измерений относительно ближайших базовых станций сети. Далее сравнивались координаты опорных точек и координаты точек, полученных при RTK съемке.

Для проведения экспериментальных исследований использовался спутниковый геодезический ГНСС приемник NetRover компании Leica Geosystems. Конструктивно приемник состоит из двух частей: полевого контроллера CS10 и GNSS модуля GS08 SmartAntenna. Связь между полевым контроллером и ГНСС модулем осуществляется по технологии Bluetooth. На полевом контроллере установлено специализированное программное обеспечение Leica SmartWorx Viva LT, с помощью которого производится управление GNSS модулем. Основные технические характеристики NetRover представлены в табл. 1.

Таблиця 1

**Технические характеристики ГНСС приемника NetRover**

Количество каналов	120 каналов
Отслеживаемые сигналы	GPS: L1, L2, L2C (C/A, P, C Code) GLONASS: L1, L2 (C/A, P narrow Code)
Точность в режиме постобработки (статика)	горизонтальная: 3 мм + 0.5 ppm вертикальная: 6 мм + 0.5 ppm
Точность в режиме RTK	горизонтальная: 5 мм + 0.5 ppm вертикальная: 10 мм + 0.5 ppm
Форматы RTK данных	форматы Leica (Leica, Leica 4G), CMR+, RTCM2.x, RTCM3.x, полная поддержка трансформационных сообщений RTCM 3.1
Сетевые стандарты	VRS, FKP, iMAX, MAX, ближайшая станция
Условия эксплуатации	температурный режим: от -30 °C до +60 °C, защищенность от влаги и пыли: IP67: возможно погружение в воду (максимальная глубина 1 м)
Время автономной работы	7 часов, используя Bluetooth® и 3.5G устройства

**Обработка результатов экспериментальных исследований**

Обработка результатов осуществлялась так [3]. С помощью программного обеспечения LGO фирмы Leica Geosystems в режиме послесезонной обработки производился расчет координат опорных точек, на которых затем проводились RTK-измерения. Полученные в режиме постобработки координаты принимались в качестве эталонных значений [4]. Координаты, измеренные в RTK-режиме, сравнивались с эталонными значениями.

Существует ряд прикладных задач, для решения которых необходимо с высокой точностью определять как плановые компоненты координат, так и высотную компоненту координат (например, топографо-геодезические съемки) [5]. В связи с этим при обработке результатов измерений акцентировалось на оценке точности определения как плановых компонент координат, так и высотной компоненты координат. Для этого измеренные и эталонные значения координат трансформировались из геодезической системы координат (BLH) в локальную систему координат (XУН), полученную на основе поперечно-цилиндрической проекции Меркатора.

Далее производились такие вычисления. Определялись расхождения по каждой координатной компоненте (1):

$$\begin{aligned}\Delta X &= X_{э\text{т}} - X_{из\text{м}}, \\ \Delta Y &= Y_{э\text{т}} - Y_{из\text{м}}, \\ \Delta H &= H_{э\text{т}} - H_{из\text{м}},\end{aligned}\quad (1)$$

где  $X_{э\text{т}}$ ,  $Y_{э\text{т}}$ ,  $H_{э\text{т}}$  – эталонное значение координат;  $X_{из\text{м}}$ ,  $Y_{из\text{м}}$ ,  $H_{из\text{м}}$  – измеренное значение координат.

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

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

Кроме этого, вычисляли средние значения координат точки по всем измерениям и находили средние расхождения:

$$\begin{aligned}\Delta X_{cp} &= X_{э\text{т}} - X_{cp}, \\ \Delta Y_{cp} &= Y_{э\text{т}} - Y_{cp},\end{aligned}\quad (3)$$

$$\Delta H_{cp} = H_{э\text{т}} - H_{cp},$$

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

Также были определены среднеквадратические отклонения (СКО)  $\sigma_{XY}$ ,  $\sigma_H$  оцениваемых координат относительно их средних значений.

В табл. 2 представлены результаты измерений, проведенных в ячейке сети, состоящей из базовых станций, расположенных в населенных пунктах: Золочев, Волчанск, Чугуев, Валки. В табл. 3 представлены результаты измерений, проведенных в ячейке сети, состоящей из базовых станций, расположенных в населенных пунктах: Валки, Золочев, Волчанск, Купянск, Изюм, Первомайский. В табл. 4 приведены результаты измерений, выполненных в ячейке сети, состоящей из базовых станций, расположенных в населенных пунктах: Первомайский, Чугуев, Купянск, Изюм.

Таблиця 2

**Результаты измерений, проведенных в ячейке сети, состоящей из базовых станций, расположенных в населенных пунктах: Золочев, Волчанск, Чугуев, Валки**

Тип сетевых поправок	$\Delta XY_{cp}$ , м	$\Delta H_{cp}$ , м	$\sigma_{XY}$ , м	$\sigma_H$ , м
i-MAX	0.005	0.013	0.005	0.009
MAX	0.007	0.013	0.005	0.015
Virtual RS	0.027	0.029	0.013	0.017
FKP	0.051	0.075	0.098	0.202

Таблиця 3

**Результаты измерений, проведенных в ячейке сети, состоящей из базовых станций, расположенных в населенных пунктах: Валки, Золочев, Волчанск, Купянск, Изюм, Первомайский**

Тип сетевых поправок	$\Delta XY_{cp}$ , м	$\Delta H_{cp}$ , м	$\sigma_{XY}$ , м	$\sigma_H$ , м
i-MAX	0.005	-0.022	0.006	0.010
MAX	0.016	-0.004	0.008	0.009
Virtual RS	0.005	0.007	0.004	0.011
FKP	0.004	0.021	0.007	0.011

Таблиця 4

**Результаты измерений, проведенных в ячейке сети, состоящей из базовых станций, расположенных в населенных пунктах: Первомайский, Чугуев, Купянск, Изюм**

Тип сетевых поправок	$\Delta XY_{cp}$ , м	$\Delta H_{cp}$ , м	$\sigma_{XY}$ , м	$\sigma_H$ , м
i-MAX	0.01	-0.044	0.016	0.017
MAX	0.009	-0.051	0.02	0.03
Virtual RS	0.009	-0.01	0.004	0.006
FKP	0.036	0.065	0.08	0.09

**Выводы**

1. Способ формирования сетевых поправок практически не влияет на точность измерений. Исключением является метод ФКР, при использовании которого замечено незначительное ухудшение точности определения координат.

2. Если расстояние между смежными базовыми станциями сети не превышает 110 км, возможно получить сантиметровые уровни точностей как в плане, так и по высоте. Такого уровня точности достаточно для выполнения прикладных задач, связанных с кадастровыми и топографо-геодезическими съемками.

3. Если расстояние между смежными базовыми станциями сети не превышает 110 км, взаимное расположение мобильного приемника и базовых станций, образующих ячейку, не влияет на точность определения координат в сетевом RTK-режиме.

**Литература**

1. Евстафьев О.В. Наземная инфраструктура ГНСС для точного позиционирования / О.В. Евстафьев. – М.: ГФК, 2009. – 48 с.
2. Горб А., Горб А., Федоренко Р. Оценка многолучевости базовых GNSS-станций сети NGC.NET // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2012. – С. 68–71.
3. Генике А.А. Глобальная спутниковая система определения местоположения GPS и ее применение в геодезии / А.А. Генике, Г.Г. Побединский. – М.: Картгеоцентр, Геоиздат, 1999 – 352 с.
4. Горб А., Нежальский Р., Федоренко Р. Анализ точности GPS-измерений в сети базовых станций // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2006. – С. 97–102.
5. <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98>.

**Експериментальні дослідження точності місцевизначення користувачів у мережевому RTK-режимі**

А. Горб, Р. Федоренко, К. Шатохіна

Проведено серію експериментальних досліджень точності визначення місця розташування користувачів з використанням різних типів мережевих RTK-поправок, сформованих діючою мережею ГНСС базових станцій. Наведено результати вимірювань. Виконано оцінку точності.

**Экспериментальные исследования точности местоопределения пользователей в сетевом RTK-режиме**

А. Горб, Р. Федоренко, К. Шатохина

Проведена серия экспериментальных исследований точности определения местоположения пользователей с использованием различных типов сетевых RTK-поправок, сформированных действующей сетью ГНСС базовых станций. Приведены результаты измерений. Выполнена оценка точности.

**Experimental research of the accuracy of positioning users in the network RTK mode**

A. Gorb, R. Fedorenko, K. Shatohina

Performed a series of experimental research the accuracy of the location of users using different types of network RTK corrections generated by the existing network of GNSS base stations. The results of the measurements and the estimation accuracy are presented.

**ОСНОВА ДЛЯ НАУК  
ПРО ЗЕМЛЮ**

- відомості про референцні системи
- опис реалізації земної та небесної систем координат
- перетворення геодезичних координат і нормальних висот
- реалізація Європейської вертикальної референцної системи
- принципи побудови референцної висотної поверхні на основі методу скінченних елементів

**РЕФЕРЕНЦНІ СИСТЕМИ В ГЕОДЕЗІЇ**  
Навчальний посібник.  
Марченко О. М.,  
Третяк К. Р., Ярема Н. П.  
Львів: Видавництво  
Львівської політехніки,  
2013. 220 с.  
ISBN 978-617-607-467-0



**ГНСС-МЕТЕОРОЛОГІЯ**  
Навчальний посібник. Заблоцький Ф. Д.  
Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. 93 с.  
ISBN 978-617-607-484-7

**ГНСС-МЕТЕОРОЛОГІЯ**

- відомості про атмосферу Землі
- атмосфера та її вплив на поширення ГНСС-сигналів
- методи вимірювання метеорологічних величин
- фізика ГНСС-метеорології

**Не тільки барометрам  
відома мінливість погоди**

