

УДК 528.3

ВЛИЯНИЕ РАССТОЯНИЙ МЕЖДУ БАЗОВЫМИ СТАНЦИЯМИ И СПУТНИКОВЫМ ПРИЕМНИКОМ НА ТОЧНОСТЬ КООРДИНАТНЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ В RTK-РЕЖИМЕ

Д. Гавриленко

Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А. Н. Бекетова

Ключевые слова: базовая станция, RTK-режим, ГНСС, точность, координаты.

Введение

В настоящее время определение пространственных координат объектов земной поверхности с использованием сети перманентных базовых станций (БС) становится все более востребованной технологией. Эта технология станет даже в ближайшей перспективе основной при выполнении высокоточных пространственных определений в геодезии, землеустройстве, при мониторинговых измерениях. Это объясняется целым рядом преимуществ указанной технологии. К преимуществам экономического характера следует отнести:

- сокращение расходов на оборудование, т. к. достаточно иметь только один комплект приемников;
- сокращение расходов на транспорт и уменьшение числа задействованных исполнителей;
- увеличение производительности труда в связи с тем, что на координирование одной точки нужно несколько секунд;
- снижение профессиональных требований к исполнителям.

Технологические преимущества состоят в:

- исключении грубых ошибок исходных пунктов;
- возможности работы в любой системе координат;
- существенном повышении точности определения координат;
- возможности работы в режиме реального времени или использования данных базовых станций при послесанной обработке;
- контроле точности измерений непосредственно в процессе их выполнения;
- доступности данных ежедневно в любое время суток;
- при работе в режиме реального времени нет необходимости в постобработке полученных данных.

Рассмотрим, как функционирует система точного позиционирования с использованием базовых станций. Спутниковые приемники, установленные на базовых станциях, постоянно принимают навигационные сигналы от навигационных спутников глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Информация, накапливаемая базовыми станциями, передается в режиме реального времени в центр управления системы. Там выполняется анализ качества, предварительная обработка, обобщение и архивирование данных. В вычислительных средствах центра управления в режиме реального времени решается сетевая задача и осуществляется вычисление корректирующих поправок.

В зависимости от оперативности определения координат потребителя используются два режима: реального времени (RT) и постобработки (POST). В режиме реального времени координаты определяемых объектов обновляются ежесекундно. В режиме постобработки координаты объектов вычисляются с запаздыванием в камеральных условиях.

Самым простым вариантом рассматриваемой технологии, но и наименее точным, является одиночная базовая станция. Если используется сеть станций, ошибки определения координат, как правило, меньше. При работе с одиночной базовой станцией должна наиболее ярко проявляться зависимость точности определения координат от расстояний до базовой станции. Поэтому найденное расстояние от одиночной базовой станции до приемника, при котором достигается точность, достаточная для выполнения большинства геодезических работ, следует рассматривать как оптимальное расстояние между пунктами сети базовых станций. Уменьшение расстояний между станциями, безусловно, повышает точность позиционирования, но увеличивает число станций, что, естественно, увеличивает затраты на создание и поддержание сети.

Анализ исследований и публикаций

В научно-технической литературе, посвященной этому вопросу, специалисты приводят различные значения расстояния между станциями в сети.

Из отечественных примеров можно выделить ООО «Навигационно-геодезический центр», создавший сеть базовых станций в Харьковской области. Специалисты указывают, что расстояние между станциями не должно превышать 70 км [1, 2]. Выполненный нами анализ фактических расстояний между соседними станциями харьковской сети показал, что эти расстояния находятся в диапазоне от 33 до 83 км, а среднее значение равно около 62 км. Следует отметить, что плотность базовых станций на территории Харьковской области самая высокая из всех областей Украины и, согласно нашим исследованиям, составляет 1 пункт на 3,1 тыс. км².

Если рассматривать зарубежные источники, можно привести примеры Германии, Армении и Российской Федерации.

Сеть SAPOS (Germany) является одной из лучших в Европе как по числу, так и по оснащению станций. Длина базисов сети составляет 30–70 км и включает более 270 станций [3].

Для Республики Армения радиус действия одной станции принимается 45 км, а расстояния между станциями 70–80 км [4].

На сайте “Инжинирингового Центра ГФК” [5] указывается, что одна базовая станция обеспечивает определение пространственных координат в режиме реального времени с сантиметровой точностью в радиусе не более 25–30 км. Удаление переносного приемника от базовой станции может быть и большим, например, 300 км. Однако при удалении от станции точность позиционирования ухудшается пропорционально расстоянию. Согласно источнику [6] базовые станции могут передавать RTK-данные и обеспечивать зону охвата в радиусе до 20–30 км.

В работе [7] также отмечается, что точность RTK-измерений зависит от длины векторов. Для достижения точности от 2 до 5 см расстояние до базовой станции не должно быть более 100 км. Для достижения более высокой точности (1–2 см) рекомендуется применять технологию сетевых поправок.

Временная модель ошибок и корректирующих поправок на основе данных нескольких станций и их точного местоположения позволяет повысить точность координирования. Это предполагает совместную обработку данных со всех базовых станций и формирование поля дифференциальных поправок на всю зону покрытия сети. Благодаря сетевому способу формирования дифференциальных поправок пользователь может надежно получать координаты на удаленностях от базовых станций до 50 км, а расстояние между станциями может быть до 80 км [5]. В работе [6] отмечается, что в RTK-сетях расстояния между базовыми станциями могут достигать более 30 км, а удаление подвижной станции от ближайшей базовой станции сети – до 50 км.

Все приведенные выше значения расстояний обобщенные. В указанных публикациях не приводятся ни теоретические, ни экспериментальные данные, а также нет ссылок на другие источники, в которых бы обосновывались указываемые расстояния.

В работах с описанием результатов экспериментальных исследований также нет однозначного мнения.

Работы, выполненные в харьковской сети [8], показали, что средние квадратические ошибки плановых координат при локальной дифференциальной коррекции относительно одиночной базовой станции составили 0,3–0,4 м при расстояниях от 7 до 40 км, 0,4–0,5 м при расстояниях 40–90 км и 0,9 м при расстояниях порядка 110 км.

В работе [7] также приводятся результаты экспериментальных работ, в которых получена точность на порядок выше. При расстояниях до 65 км разности в плановых координатах находятся в диапазоне 1,1–6,7 см, а в высотной координате 1,6–11,6 см.

По результатам исследований в сети UA-EUPOS/ZAKPOS, расположенной в Закарпатье, установлено, что при расстояниях от 50 до 100 км между базовой станцией и передвижным приемником фиксированный результат остается достаточно качественным (примерно 5 см в плане, 10 см по высоте) [12].

Такие значительно отличающиеся результаты требуют дополнительных исследований с разделением получаемых разностей на случайную и систематическую составляющие.

Цель исследований

Целью данной работы являются экспериментальные исследования по выявлению зависимостей ошибок определения координат от расстояния до одиночной базовой станции в RTK-режиме. Такой подход объясняется тем, что точность позиционирования в этом случае будет наименьшей и поэтому будет обеспечен определенный запас в значениях расстояний.

Изложение основного материала

Условия проведения эксперимента.

Для определения зависимости точности координат пункта наблюдений от одиночных базовых станций выполнены экспериментальные исследования на пункте триангуляции III класса, расположенном в юго-восточной части г. Киева. Его выбрано таким образом, чтобы вокруг пункта измерений отсутствовали высокие сооружения и деревья, которые могли бы провоцировать явление многопутности и стать источником помех при приеме радиосигналов от навигационных спутников.

Полевые работы выполняли спутниковым приемником Leica GS08plus. Приемник является двухчастотным и поддерживает режим RTK. Он имеет 120 каналов приема сигналов и работает со спутниками систем GPS Navstar и ГЛОНАСС. В RTK-режиме реализованы такие форматы данных: Leica (Leica, Leica4G), CMR+, RTCM 2.x, RTCM 3.x. Частота обновления координат стандартно 1 Гц. По данным производителя средние квадратические ошибки измерений в реальном времени (RTK) характеризуются следующими значениями:

- в плане: 5 мм + 0,5 мм/км;
- по высоте: 10 мм + 0,5 мм/км.

В постобработке точность повышается до таких значений средних квадратических ошибок:

- в плане: 3 мм + 0,5 мм/км;
- по высоте: 6 мм + 0,5 мм/км.

Перед исследованиями выполнено переопределение координат пункта наблюдений в режиме статики относительно трех ближайших базовых станций, расположенных примерно равномерно по азимуту. Накопление данных, направленных на определение эталонных координат пункта измерений, осуществлялось в вечернее время в течение 2 часов. За этот период принимались сигналы от 12 спутников GPS Navstar и 8 спутников ГЛОНАСС, т. е. всего от 20 навигационных спутников. В результате обработки получены значения плановых координат со средними квадратическими ошибками 0,4–0,5 мм, а высоты – 1,1 мм.

Для решения поставленной задачи исследований независимо определены координаты пункта наблюдений (ПН) от шести базовых станций, удаленных на разные расстояния в диапазоне от 6 до 235 км. Все станции входят в сеть SystemNet [10]. Схема размещения базовых станций относительно пункта ПН и расстояния до них показаны на рис. 1.

На каждую базовую станцию было выполнено 300–310 измерений (табл. 1) при автосохранении данных с интервалом в 1 с. Все измерения выполнялись в условиях чистого небосклона при угле маски в 10°. Наблюдения производились в вечернее время, это способствовало уменьшению влияния ионосферных задержек. Таким образом, можно констатировать, что условия проведения экспериментальных измерений являлись наилучшими.

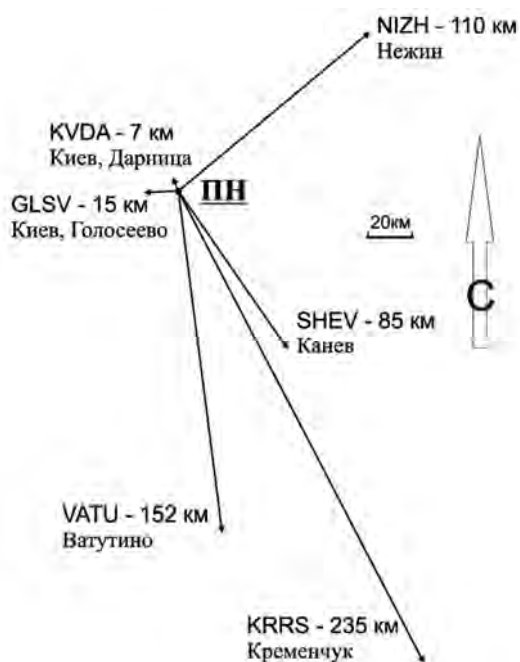


Рис. 1. Схема взаимного расположения базовых станций и пункта наблюдений (ПН)

Выполнялся анализ результатов измерений:

1. Вычисляли средние значения координат пункта наблюдений из всей совокупности измерений отдельно

для каждой стороны между приемником и соответствующей базовой станцией

$$x_m = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} x_i}{n}; \quad y_m = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} y_i}{n}; \quad h_m = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} h_i}{n}. \quad (1)$$

2. Вычисляли значения разброса соответствующих координат при работе с соответствующей базовой станцией

$$\Delta x = x_{\max} - x_{\min}; \quad \Delta y = y_{\max} - y_{\min};$$

$$\Delta h = h_{\max} - h_{\min}. \quad (2)$$

3. Определяли средние квадратические отклонения (средние квадратические ошибки) определения координат σ_x , σ_y , σ_h и планового положения σ_l по отклонениям от средних значений, которые характеризуют случайные ошибки измерений

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (x_i - x_m)^2}{n-1}}; \quad \sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (y_i - y_m)^2}{n-1}};$$

$$\sigma_l = \sqrt{(\sigma_x)^2 + (\sigma_y)^2}; \quad \sigma_h = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (h_i - h_m)^2}{n-1}}. \quad (3)$$

Таблица 1

Характеристики измерений и результаты анализа

Название БС	KVDA	GLSV	SHEV	NIZH	VATU	KRRS
Расположение БС	Киев, Дарница	Киев, Голосеево	Канев	Нежин	Ватутино	Кременчук
Расстояние, км	6,6	15,3	85,1	109,9	152,3	235,1
Дирекционный угол, градус	272	338	145	50	173	152
Число измерений n	312	311	328	329	329	329
Размах значений, м						
Δx	0,008	0,029	0,029	0,087	0,105	0,721
Δy	0,009	0,017	0,029	0,049	0,121	0,302
Δh	0,022	0,040	0,069	0,189	0,113	0,532
Случайные средние квадратические ошибки, м						
по оси $x - \sigma_x$	0,002	0,005	0,005	0,026	0,028	0,160
по оси $y - \sigma_y$	0,002	0,003	0,007	0,012	0,035	0,061
в плане $- \sigma_l$	0,003	0,006	0,009	0,029	0,045	0,171
по высоте $- \sigma_h$	0,003	0,009	0,013	0,047	0,023	0,070
Отклонение средних значений от эталона (систематические ошибки)						
по $x - \delta x$, м	-0,015	-0,012	-0,263	0,029	-0,438	-0,763
по $y - \delta y$, м	0,004	0,023	0,087	0,304	0,318	0,527
в плане $- \delta l$, м	0,016	0,026	0,277	0,306	0,541	0,927
дир. угол отклонения, градус	166	118	162	265	144	145
по высоте $- \delta h$, м	-0,004	-0,023	-0,012	-0,001	-0,147	0,212
Оценки эллипса рассеивания						
большая полуось, м	0,002	0,005	0,007	0,028	0,037	0,171
малая полуось, м	0,001	0,005	0,005	0,012	0,031	0,029
дир. угол направления большой оси, градус	44,9	224,0	224,5	14,8	216,9	341,3

4. Определяли отклонения средних значений от эталонных значений координат x_e , y_e , h_e . Эти отклонения характеризуют систематические ошибки координатных определений

$$\delta x = x_m - x_e; \quad \delta y = y_m - y_e; \quad \delta h = h_m - h_e. \quad (4)$$

Полное отклонение в плане и дирекционный угол направления отклонения определялись по формулам:

$$\delta l = \sqrt{(\delta x)^2 + (\delta y)^2}; \quad \alpha_l = \arctg \frac{\delta y}{\delta x}. \quad (5)$$

5. Вычисляли параметры эллипсов рассеивания в плановом положении пункта наблюдений по формулам, приведенным в работе [11], используя центральные координаты:

$$\bar{x}_i = x_i - x_m; \quad \bar{y}_i = y_i - y_m. \quad (6)$$

а) дирекционный угол большой оси эллипса рассеивания

$$\operatorname{tg} 2\varphi = \frac{2 \sum_{i=1}^{i=n} \bar{x}_i \bar{y}_i}{\sum_{i=1}^{i=n} \bar{x}_i^2 - \sum_{i=1}^{i=n} \bar{y}_i^2}; \quad (7)$$

б) координаты относительно осей эллипса

$$\begin{aligned} x'_i &= \bar{x}_i \cos \varphi + \bar{y}_i \sin \varphi; \\ y'_i &= \bar{y}_i \cos \varphi - \bar{x}_i \sin \varphi. \end{aligned} \quad (8)$$

в) размеры полуосей эллипса рассеивания

$$a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (x'_i)^2}{n}}; \quad b = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (y'_i)^2}{n}}. \quad (9)$$

Результаты вычислений по приведенным формулам представлены в табл. 1.

Анализ изменения координат по мере накопления данных с интервалом 1 с показал, что с увеличением расстояния возрастает неравномерность значений координат. При расстояниях более 200 км наблюдается “биение” координат с большой амплитудой. На рис. 2 приведены графики изменения высот пункта наблюдений при передаче RTK данных от различных базовых станций. Аналогичные картины получены для абсцисс и ординат пункта.

Изменение положения пункта наблюдений в плане представляет собой “облако” рассеивания (рис. 3). На этом же рисунке показаны эллипсы, характеризующие рассеивание данных, с одинарными, удвоенными и утроенными полуосями. Положение большой оси эллипса рассеивания соответствует линии, вдоль которой сумма квадратов отклонений имеет минимальное значение, а сумма квадратов отклонений относительно малой оси максимальна. Другими словами, в направлении малой оси наилучшая точность определения положения пункта в плане, которая характеризуется размером малой полуоси.

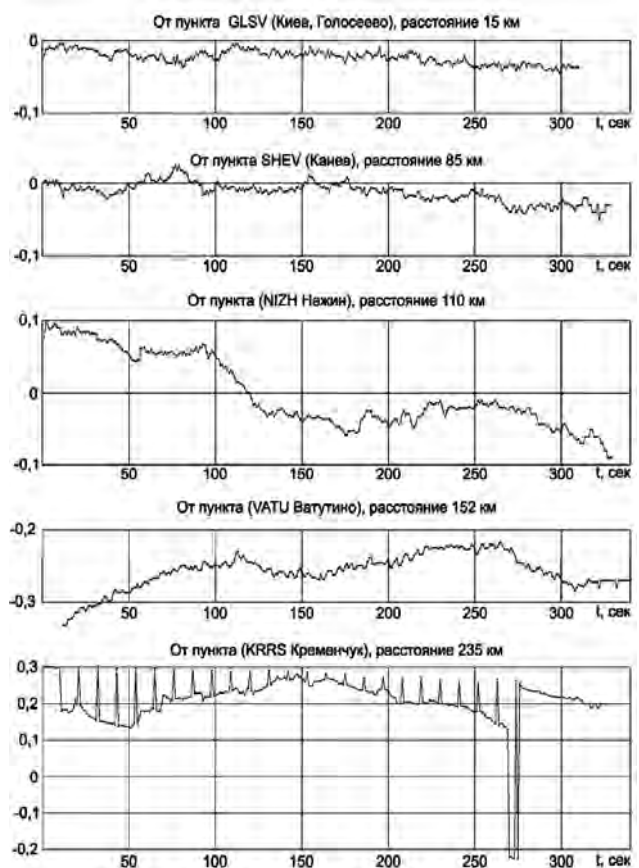


Рис. 2. Графики изменения высот пункта наблюдений по мере накопления данных, м

Положение центра эллипса рассеивания характеризует систематическую составляющую в определении положения пункта относительно эталонных координат. На рис. 3 направление смещение центра эллипса относительно эталона показано вектором (штриховая линия) с указанными значениями смещений по координатным осям. Анализ положения этих векторов примерно совпадает с направлением на соответствующую базовую станцию.

При расстояниях до 100 км (см. рис. 3), т. е. при измерениях от БС KVDA, GLSV, SHEV, эллипс достаточно близок к окружности. Это свидетельствует о том, что ошибка определения плановых координат примерно одинакова по всем направлениям. При расстояниях более 100 км направление большой оси эллипса рассеивания достаточно близко к линии, направленной на базовую станцию, т. е. максимальные как случайные, так и систематические ошибки направлены вдоль линии, направленной на базовую станцию.

Таким образом, как случайные, так и систематические ошибки координирования не только возрастают с увеличением расстояния, но и меняют свою ориентировку.

Анализ полученных результатов (см. табл. 1) показывает, что значения размаха, систематических ошибок, случайных средних квадратических ошибок и, следовательно, размеры полуосей эллипсов рассеивания возрастают с увеличением расстояний до базовых станций.

Наглядно об этом свидетельствуют графики, представленные на рис. 4–6. Экспериментальные данные, полученные в результате проведенных исследований, показаны на графиках соответствующими значками.

Все зависимости надежно описываются одним типом уравнений, а именно

$$y = ax^b e^{cx}; \quad y = ax^b \exp(cx), \quad (10)$$

где a, b, c – эмпирические коэффициенты зависимости, которые находят по методу наименьших квадратов, используя экспериментальные данные (см. табл. 1).

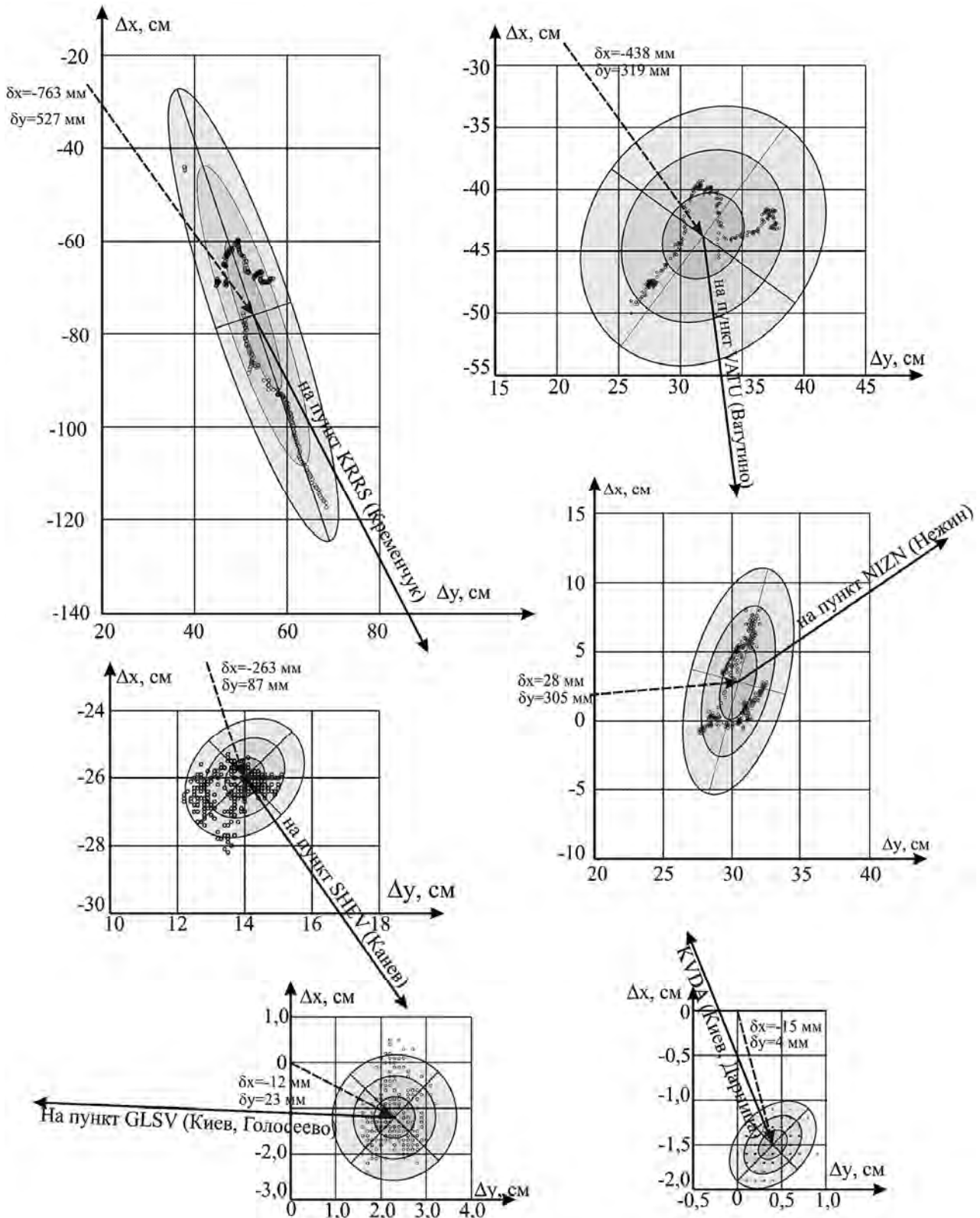


Рис. 3. Эллипсы рассеивания планового положения пункта наблюдений

Значения коэффициентов для различных зависимостей приведено в табл. 2.

Таблица 2

Значения коэффициентов в зависимостях, описываемых уравнениями (10)

Уравнение	Полученные значения эмпирических коэффициентов		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
Размах значений			
по оси <i>x</i>	0,00045	0,585	0,0178
по оси <i>y</i>	0,00027	0,981	0,0071
по высоте	0,03845	-0,104	0,0135
Случайные ошибки			
в плане	0,00030	0,630	0,0124
по высоте	0,00026	0,629	0,0133
Систематические ошибки			
в плане	0,00145	1,141	0,0010
по высоте	0,00021	1,053	0,0051

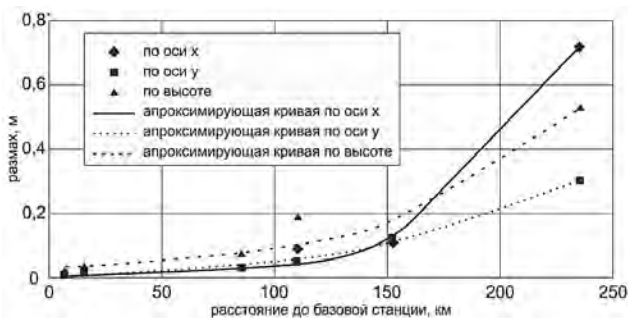


Рис. 4. Графики размаха значений координат

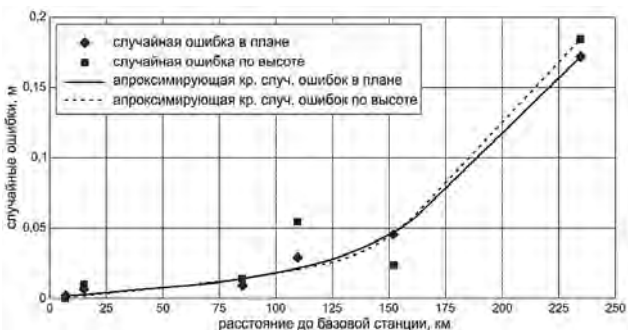


Рис. 5. Графики изменения случайных ошибок в плане и по высоте

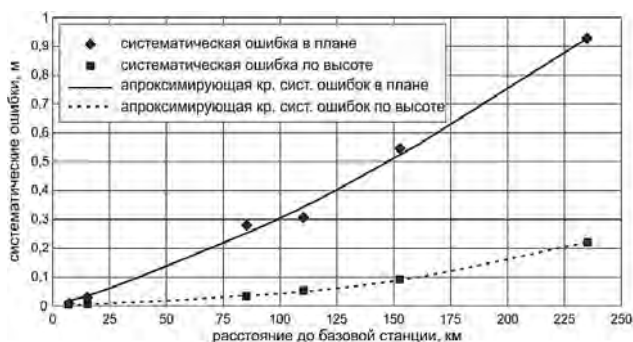


Рис. 6. Графики изменения систематических ошибок в плане и по высоте

Анализ приведенных зависимостей показывает, что основное влияние на точность координирования оказывают систематические ошибки, они в среднем в 12 раз больше случайных. При этом интересным является факт, что систематические ошибки в плановых координатах больше, чем по высоте. Этот результат можно объяснить тем, что смещения в плане происходят примерно вдоль линии, связывающей определяемый пункт с базовой станцией. Это позволяет высказать предположение, что основная часть ошибки в плановых и высотных координатах пункта определяется ошибками в длине вектора. Учитывая, что пункт наблюдений и базовые станции в описываемом эксперименте расположены примерно на одном уровне (зенитные расстояния отличаются от 90° не более чем на $0,5'$), ошибки в длине базовой линии будут мало влиять на высотные координаты.

Если задаться сантиметровой точностью, т. е. систематическая ошибка в плане не должна превышать 0,1 м, то расстояние до базовой станции не должно быть больше 40 км. Систематические ошибки по высоте существенно меньше и при расстояниях до 100 км не превышают 0,1 м.

Случайные ошибки измерений в плановых координатах и по высоте практически одинаковы (см. рис. 5). Они тоже возрастают с увеличением расстояний, но не превышают 0,1 м при расстояниях до 180 км.

Выводы

В целом по результатам проведенных исследований можно сделать такие выводы:

1. Случайные погрешности измерений существенно меньше систематических, и они не являются фактором, определяющим расстояния до базовых станций.

2. Основным фактором, ограничивающим допустимые расстояния между спутниковым приемником и базовой станцией, являются систематические ошибки, обусловленные невозможностью использовать передаваемые поправки на расстояниях более 30–40 км. При этом поправки в плане определяются хуже, нежели по высоте.

3. Учитывая перекрытия зон воздействия от отдельных станций, можно считать, что расстояния между станциями не должны превышать 60–80 км. При этом необходимо учитывать взаимное расположение населенных пунктов, т. к. обустроить базовую станцию без электроснабжения, каналов связи и надежной охраны оборудования невозможно.

Литература

1. Назначение сети базовых станций [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ngc.com.ua/info.php?page=gpsdiscip>. – Назва з екрана.
2. Горб А. И. Система высокоточных спутниковых геодезических измерений в Харьковской области / А. И. Горб, Р. Н. Федоренко // Геопрофи. – 2008. – № 6. – С. 51–53.
3. Jahn C. H. Das SAPOS®-Qualitätsmanagement der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland / C. H. Jahn, J. Rubach, C. Elsner, A. Schenk,

- P. Wagenführ, H.-G. Dick, A. Brünner // zfv, 3/2011. – S. 127–137.
4. Манукян Л. В. Создание модели квазигеоида и сети постоянно действующих базовых станций в республике Армения / Л. В. Манукян, В. А. Маркарян // Инженерна геодезія. – 2014. – Вип. 60. – С. 34–39.
 5. Региональные сети спутниковых референчных станций [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.icentre-gfk.ru/naprd/nard_stp_rsss.htm. – Назва з екрана
 6. Евстафьев О. В. Наземная инфраструктура ГНСС для точного позиционирования. – М.: ООО «Издательство «Проспект», 2009. – 48 с.
 7. Шульц Р. В. Практичні дослідження точності визначення координат за супутниковими технологіями в режимі реального часу / Р. В. Шульц, О. І. Терещук, А. О. Анненков, І. О. Нисторьяк // Инженерна геодезія. – 2014. – Вип. 61. – С. 58–76.
 8. Горб А. Экспериментальная оценка точности определения координат навигационным приемником в дифференциальном режиме / А. Горб, А. Нестерович, Р. Федоренко // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. праць – Львів, 2009. – Вип. I (17). – С. 103–108.
 9. Савчук С. Экспериментальні дослідження точності визначення координат методом RTK з використанням GPRS Internet-з'єднання / С. Савчук, А. Задемленюк, А. Піскорівський // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. праць – Львів, 2009. – Вип. I (17). – С. 58–69.
 10. Базовые станции сети System.NET. СК-63 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://systemnet.com.ua/ru/network/stantsii-seti/sk-63>. – Назва з екрана
 11. Гавриленко Ю. Н. Обработка и анализ маркшейдерских наблюдений за деформациями бортов карьеров и оползнями с использованием методов математической статистики // Тр. ВНИИ горной геомеханики и маркшейдерского дела, сб. “Прогнозирование сдвижений и деформаций горных пород и устойчивости бортов разрезов при разработке угольных пластов”. – Л., 1981. – С. 60–64.
 12. Ланьо О. Дослідження точності RTK-вимірювань у мережі UA-EUPOS/ZAKPSS / Ланьо О., Савчук С. // Вісник геодезії і картографії. – 2012. – № 4. – С. 8–13.

Вплив відстаней між базовими станціями і супутниковим приймачем на точність координатних визначень у RTK-режимі

Д. Гавриленко

Розглянуто питання точності визначення координат у RTK-режимі з використанням постійних базових станцій, зокрема, залежність помилок визначення координат від відстані до одиначної базової станції. Експериментальні дослідження виконано з

використанням станцій мережі SystemNet у діапазоні від 6 до 235 км. Результати виконаних робіт дали змогу встановити, що основний вплив на точність позиціонування здійснюють систематичні помилки. Для забезпечення сантиметрової точності координування відстані до базової станції не повинні перевищувати 30–40 км. З урахуванням перекриття зон від окремих станцій можна вважати, що відстані між ними повинні становити не більше ніж 60–80 км.

Влияние расстояний между базовыми станциями и спутниковым приемником на точность координатных определений в RTK-режиме

Д. Гавриленко

Рассматривается вопрос точности определения координат в RTK-режиме при использовании перманентных базовых станций, в частности, зависимость ошибок определения координат от расстояния до одиночной базовой станции. Экспериментальные исследования выполнены с использованием станций сети SystemNet в диапазоне от 6 до 235 км. Результаты выполненных работ позволили установить, что основное влияние на точность позиционирования оказывают систематические ошибки. Для обеспечения сантиметровой точности координирования расстояния до базовой станции не должны превышать 30–40 км. С учетом перекрытия зон от отдельных станций можно считать, что расстояния между ними должны составлять не более 60–80 км.

Influence of distance between base stations and satellite receiver on accuracy of coordinate measurement in RTK-mode

D. Gavrylenko

In the article is considered question of measurement accuracy in RTK-mode using permanent base station and dependence of coordinates' measurement error on distance to single base station. Experimental research has implemented on stations of SystemNet with distance range from 6 km to 235 km. Results of work let reveal that basic influence on measurement accuracy of positioning make systematic errors. Systematic errors are increasing with increasing distance from base station. Distance to base station shouldn't exceed 30–40 km for getting plane coordinates' measurement accuracy in 1 cm. Systematic errors of height significant less of plane errors. Random measurement errors of plane coordinates and random measurement errors of height are practically same. They are increase with increasing of distance but not exceed 0,1 m with distance up to 180 km. Based on the measurement accuracy of plane coordinates and taking into account the overlapping areas of the single stations can be assumed that the distance between the base stations must be in range 60–80 km.