

**ОБ ИССЛЕДОВАНИИ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ
ПУНКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕКТА СПУТНИКОВОЙ
АППАРАТУРЫ TRIMBLE R3**

Кравченко О.В., канд. техн. наук, доц.;

Кандыбо С.Н., канд. техн. наук, доц.

(Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, Горки)

Представлены результаты исследования точности определения положения пунктов с использованием комплекта спутниковой аппаратуры Trimble R3. Рассмотрен порядок уравнивания результатов спутниковых измерений в программе Trimble Geomatics Office. Для сравнения выполнено уравнивание спутниковых измерений минимаксным методом с оценкой точности полученных результатов.

Спутниковые системы глобального позиционирования используются при выполнении топографо-геодезических и землеустроительных работ на предприятиях Республики Беларусь на протяжении последних 20 лет. Несмотря на это достаточно часто возникают вопросы, связанные со спецификой выполнения полевых спутниковых измерений, камеральной обработкой и оценкой точности полученных результатов.

В частности, дополнительных исследований требуют такие вопросы, как выбор режима и метода спутниковых измерений, методики преобразования систем координат и оценка точности положения пунктов.

Камеральная обработка результатов измерений, как правило, выполняется с использованием программ фирм-производителей спутниковых приемников. Несмотря на универсальность таких программ, в большинстве случаев неизвестен алгоритм уравнивания спутниковых измерений и алгоритм оценки точности полученных результатов.

Таким образом, целью данной работы является исследование точности определения положения пунктов с использованием комплекта спутниковой аппаратуры Trimble R3, сравнение результатов уравнивания измерений в программе Trimble Geomatics Office и минимаксным методом.

Комплект спутниковой аппаратуры Trimble R3 (разработчик фирма Trimble Navigation) включает объединенные в одном корпусе приемник GPS Trimble R3 и полевой контроллер Trimble Recon, а также антенну Trimble A3.

Спутниковый приемник Trimble R3 позволяет выполнять измерения на несущей частоте L1 в режимах «статика», «быстрая статика» и «кинематика», а также работать в режиме DGPS [1].

Для управления GPS-системой Trimble R3 используется полевая программа Trimble Digital FieldBook.

Результаты съемки сохраняются в отдельном юоi-файле для передачи и постобработки на ПК.

Согласно паспортным данным при соблюдении технологии выполнения спутниковых измерений комплект спутниковой аппаратуры Trimble R3 обеспечивает точность определения координат, представленную в таблице 1.

Таблица 1

Точность определения координат спутниковой аппаратурой Trimble R3

Режим спутниковых измерений	СКО в плане и по высоте	
Статика и быстрая статика («Static» и «FastStatic»)	в плане по высоте	$\pm (5 \text{ мм} + 0.5 \text{ мм/км})$ $\pm (5 \text{ мм} + 1 \text{ мм/км})$
Кинематика с постобработкой Кинематика с постобработкой (Postprocessed Kinematic)	в плане по высоте	$\pm (10 \text{ мм} + 1 \text{ мм/км})$ $\pm (20 \text{ мм} + 1 \text{ мм/км})$
EXPS в реальном режиме времени при приеме дифференциальных поправок WAAS/EGNOS	в плане и по высоте	< 3 м

Для обработки результатов спутниковых измерений, полученных с помощью спутниковых приёмников фирмы Trimble Navigation, используется русифицированное программное обеспечение Trimble Geomatics Office и Trimble Business Center.

При выполнении топографо-геодезических и землеустроительных работ используются сетевой и лучевой методы. При определении координат точек с использованием лучевого метода для одночастотных приемников длина базовой линии не должна превышать 5 км, при использовании стационарно работающей базовой станции длину базовой линии можно увеличивать до 10 км. При длинах линий от базовой станции до определяемых точек, превышающих указанные выше допуски, необходимо использовать сетевой метод.

Спутниковые измерения были выполнены на учебном геодезическом полигоне УО «БГСХА». Схема сети с условными названиями пунктов 1 приведена на рисунке 1. При выполнении спутниковых измерений использовался статический режим. Время измерений на каждом определяемом пункте составляло не менее 20 мин. Расстояние от базовых станций до определяемых пунктов не превышало 2 км. Уравнивание сети выполнено в программе Trimble Geomatics Office (TGO).

Рассмотрим порядок обработки результатов спутниковых измерений в данной программе. После импорта данных спутниковых измерений в формате dat-файлов с базовой станции и подвижного приемника выполняется обработка базовых линий. Для обработки базовых линий используется модуль WAVE (Weighted Ambiguity Vector Estimator). Статистика обработки базовых линий отображается в диалоговом окне «GPS-обработка» (рис. 2) и автоматически сохраняются в стандартном отчете. Здесь приводятся [2, с. 20]:

- тип решения базовой линии: фиксированное (Fixed) или плавающее (Float);
- критерии точности результатов обработки базовых линий: отношение (Ratio), коэффициент дисперсии (Reference Variance) и СКО (RMS) ее определения.

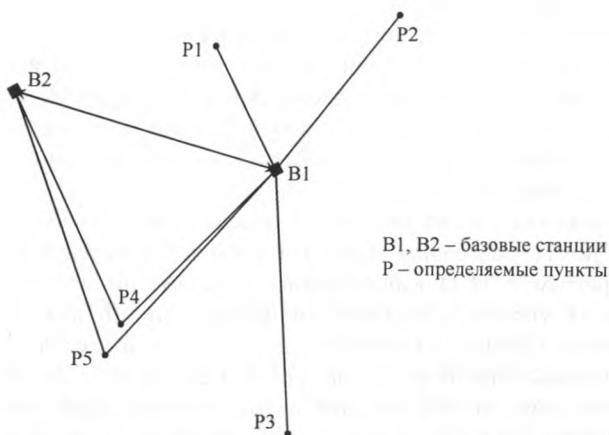


Рис. 1. Схема сети с условными названиями пунктов

GPS обработка					
	11 Длина базово...	Т ил решения	Отношение ≡ ДисперКо...	СКО	
<input type="checkbox"/>	1686.315м	L1 Плавающее		2.252	0,006м
<input type="checkbox"/>	834.848м	L1 Фиксирова...	4,1	5.153	0,011м
<input type="checkbox"/>	1950.638м	L1 Фиксирова...	3,8	7.152	0,012м
<input type="checkbox"/>	1105.362м	L1 Фиксирова...	4,6	4,913	0,003м
<input type="checkbox"/>	1670.657м	L1 Фиксирова...	1,9	7,260	0,014м
<input type="checkbox"/>	1706.330м	L1 Фиксирова...	3,0	8,360	0,009м
<input type="checkbox"/>	1350.652м	L1 Фиксирова...	4,9	6,868	0,015м

Рис. 2. Диалоговое окно «GPS-обработка»

Рассмотрим более подробно каждый из этих критериев.

При фиксированном решении базовой линии разрешена неоднозначность фазовых измерений, т.е. найдено целочисленное значение длин волн от спутников до определяемой точки. Такой тип решения является наилучшим. При плавающем типе решения базовой линии неоднозначность фазовых измерений имеет дробное значение.

Критерии «отношение» и «коэффициент дисперсии» следует рассматривать совместно. При обработке базовых линий формируется набор возможных значений решения неоднозначности фазовых измерений и ПС каждому решению вычисляется дисперсия. Критерий «отношение» покалывает отношение дисперсии второго лучшего фиксированного решения базовой линии к дисперсии первого лучшего фиксированного решения. При величине отношения менее 1,5 лучший тип решения не может быть определен и неоднозначность фазовых измерений не определена (плавающее решение базовой линии).

Коэффициент дисперсии или дисперсия единицы веса - отношение полученной погрешности решения базовой линии к ожидаемой погрешности при данных условиях наблюдений. В идеальном случае коэффициент дисперсии должен быть равен 1. Как любой статистический параметр, коэффициент дисперсии зависит от объема накопленных данных, т.е. количества эпох измерений [2, с. 27,61].

Средняя квадратическая ошибка определения базовой линии зависит от геометрии расположения спутников в период измерений и уровня помех. В программе TGO вышеуказанные параметры используются для определения уровня приемлемости базовых линий для дальнейшего уравнивания. Следует отметить что, если один или несколько критериев качества базовых линий превышает установленные допуски, такая базовая линия автоматически исключается из дальнейшего уравнивания. Так, в нашем случае была исключена из уравнивания базовая линия B1-P2. Однако TGO дает возможность вручную включить в уравнивание базовые линии, отбракованные модулем WAVE.

Дополнительным критерием качества решения базовых линий и построения спутниковой сети в целом являются вычисления невязок в замкнутых фигурах. В программе TGO создается отчет о замыкании полигонов B2-B1-P4 и B2-B1-P5.

На следующем этапе выполняется уравнивание результатов спутниковых измерений с использованием модуля Network Adjustment. Согласно источнику [3, с. 69] уравнивание выполняется по методу наименьших квадратов. По умолчанию в данном модуле процесс уравнивания выполняется максимум 10 раз, пока не будут выполнены условия по допуску π |

правок и количеству итераций. Результаты уравнивания выводятся в стандартный отчет.

Для сравнения полученных результатов было выполнено уравнивание этой же сети минимаксным методом исходя из неопределенности информации о корреляционных моментах корреляционной матрицы на основе теории, изложенной в [4, с. 23 - 39].

В результате уравнивания в программе TGO и минимаксным методом получены координаты пунктов сети и средние квадратические погрешности их положения. Координаты пунктов сети отличаются в обоих случаях друг от друга в единицах третьего знака после запятой. Результаты оценки точности положения пунктов представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты оценки точности положения пунктов

Пункты	Средние квадратические погрешности положения пунктов, м					
	Trimble Geomatics Office			Минимаксный метод		
	m_x	m_y	m_z	m_x	m_y	m_z
P1	0,041	0,031	0,050	0,053	0,044	0,055
P2	0,211	0,345	0,252	0,058	0,051	0,078
P3	0,052	0,060	0,078	0,055	0,049	0,075
P4	0,041	0,060	0,052	0,039	0,035	0,049
P5	0,041	0,059	0,052	0,039	0,038	0,059

Как свидетельствуют данные таблицы 2, средние квадратические погрешности положения пунктов, по которым в TGO получены фиксированные решения базовых линий, имеют близкие значения. Различные результаты получены для пункта P2, для которого в TGO получено плавающее решение базовой линии. При уравнивании минимаксным методом весовые матрицы составляются с учетом стандартов измерений приращений координат, которые в свою очередь определяются по невязкам в замкнутых фигурах. Если считать, что при уравнивании в модуле Network Adjustment веса назначаются с учетом корреляционных матриц, получаемых по результатам измерения базовых линий, то этим можно объяснить расхождения в точности положения пункта P2.

ЛИТЕРАТУРА

1. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.trimble.ru>.
2. Wave Baseline Processing. User manual H Trimble Navigation limited. - U.S.A., 2001, - 84 p.

3. Network Adjustment. User manual // Trimble Navigation limited. - U.S.A., 2001.-113 p.
4. Ярмоленко, А.С. Минимаксное оценивание координат GPS-построений при неизвестных корреляционных моментах в параметрическом способе уравнивания / А.С. Ярмоленко, О.В. Кравченко // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2003. - № 3. - С. 23 - 39.

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ
КАРТОГРАФИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ
В ПРОГРАММАХ ВЕКТОРНОЙ ГРАФИКИ**

Атоян Л.В., канд. техн. наук, доц.

(Белорусский государственный университет, Минск)

Формирование картографического изображения, а также его описание с помощью конечного набора признаков позволяет формализовать картографическую информацию, а следовательно, дает возможность использовать программы векторной графики для построения географической карты высокого качества на экране компьютера в интерактивном режиме с целью печати тиража. Это возможно благодаря аналогичному алгоритму создания изображения в графических векторных редакторах и наличию соответствующего инструментария. Работа в слоях позволяет оптимальным образом структурировать картографическую информацию, а использование цветовых моделей - создать цветное изображение, что в конечном счете удовлетворяет требованиям полиграфического воспроизведения.

Успешным условием автоматизации картографических работ является формализация картографического изображения, т.е. математическое описание объектов карты с помощью конечного набора признаков. Формализовать информацию можно путем построения картографического изображения на основе его иерархического описания из конечного набора элементарных символов, что, кроме того, обеспечивает логику построения изображения. Такое изображение может храниться в автоматизированных банках картографических данных и быть подвергнуто содержательному анализу и поиску, поскольку строится на принципах унификации и стандартизации условных обозначений, а также однозначного соответствия графического изображения смысловому содержанию отображаемого объекта.