

УДК 528.16:681.3

О. В. Кравченко, доцент (БГТУ)

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКТА СПУТНИКОВОЙ АППАРАТУРЫ TRIMBLE R3 ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ПУНКТОВ

В статье рассмотрен вопрос координирования пунктов с использованием комплекта спутниковой аппаратуры Trimble R3 и программного обеспечения Trimble Geomatics Office. Рассмотрены основные критерии обработки базовых линий. Даны рекомендации по работе в полевых условиях и улучшению результатов обработки базовых линий в камеральных условиях.

In article the order of processing of results of the GPS-measurements executed by the complete set of satellite equipment Trimble R3, in software Trimble Geomatics Office is resulted. The basic criteria on which processing of measurements is carried out are considered. Recommendations about improvement of results of processing of base lines in room conditions are given.

Введение. Бурное развитие космической геодезии и соответственно возможность получать большое количество пространственных данных за все меньшее время приводит к все более активному внедрению глобальных систем спутникового позиционирования (GPS) в различные сферы деятельности человека. Для полноценного использования этих данных фирмы-производители спутниковых приемников предлагают достаточно мощное офисное программное обеспечение для камеральной обработки результатов измерений, которое служит связующим звеном между полевыми работами и системами автоматизированного проектирования [1, 2].

Несмотря на кажущуюся наглядность и удобство изучения GPS-приемников, достаточно часто возникают вопросы, связанные со спецификой выполнения полевых измерений, камеральной обработки данных, с анализом полученных результатов, устранением погрешностей.

Объекты и методы исследования. В данной статье будут рассмотрены вопросы координирования пунктов с применением комплекта спутниковой аппаратуры Trimble R3 (разработчик фирма Trimble Navigation), обработкой полевых результатов, анализом полученных данных и даны рекомендации по улучшению полученных результатов.

Комплект спутниковой аппаратуры Trimble R3 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» [3, 4].

При выполнении измерений GPS системой Trimble R3 в статическом или быстростатическом режиме приемник находится в стационарном положении, что позволяет получать координаты пунктов с максимально возможной точностью. Работа в кинематическом режиме не требует стационарного положения приемника. Продолжительность съемки в статическом режиме варьирует от 30 минут до нескольких часов.

При выполнении быстростатической съемки период измерений может быть от 8 минут. При работе в кинематическом режиме, после того, как выполнена инициализация, время может варьировать от нескольких минут до нескольких секунд. Это, безусловно, повышает производительность работ, но снижает точность получаемых результатов.

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 допуски, необходимо использовать сетевой метод.

Согласно паспортным данным, при соблюдении технологии выполнения спутниковых измерений комплект спутниковой аппаратуры Trimble R3 обеспечивает следующую точность определения координат (табл. 1).

Таблица 1

Точность определения координат спутниковой аппаратурой Trimble R3

Режим спутниковых измерений	СКП в плане и по высоте
Статика и Быстрая статика	$\pm(5 \text{ мм} + 0,5 \text{ мм/км})$ и $\pm(5 \text{ мм} + 1 \text{ мм/км})$
Кинематика с постобработкой	$\pm(10 \text{ мм} + 1 \text{ мм/км})$ и $\pm(20 \text{ мм} + 1 \text{ мм/км})$
DGPS в реальном режиме времени	< 3 м

Спутниковые измерения были выполнены на учебном геодезическом полигоне. Схема сети с условными названиями пунктов приведена на рис. 1.

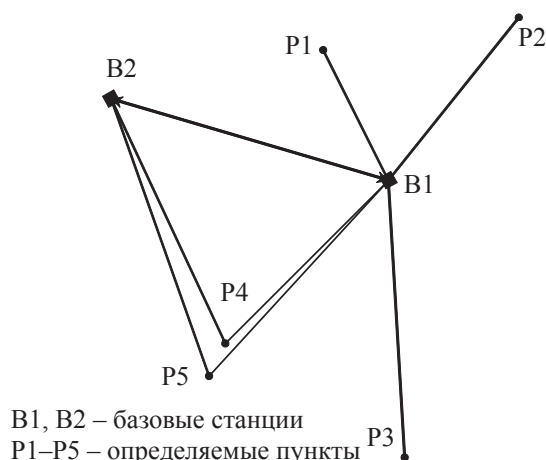


Рис. 1. Схема сети

При выполнении измерений использовался быстростатический режим. Время измерений на каждом определяемом пункте составляло не менее 20 мин. Расстояние от базовых станций до определяемых пунктов не превышало 3 км.

Результаты и обсуждение. В идеальном случае GPS-измерения должны выполняться в поле при устойчивом приеме сигналов с шести спутников, отсутствии помех и т.д. Однако сочетание таких условий встречается не всегда [1, 2].

Погрешности, которые допускают исполнители в поле, можно разделить на *грубые* и *случайные*.

К *грубым погрешностям* полевых измерений можно отнести ошибки при записи высоты антенны, которые влияют на последующую обработку данных. Поэтому лучше записывать высоту антенны, вначале и конце сеанса измерений, использовать штатив с фиксированной высотой, что позволяет уменьшить ошибки при снятии отсчета с помощью рулетки.

Случайные погрешности возникают из-за недостаточного учета реальных полевых условий (наличия препятствий, источников переотражения и др.). Уменьшить случайные погрешности можно правильно выбирая местоположения станций наблюдения, а также выполняя измерения в течение достаточного периода времени и делая избыточные измерения.

Для обработки результатов спутниковых измерений, полученных с помощью спутниковых приемников Trimble R3, использовалось русифицированное программное обеспечение Trimble Geomatics Office (ПО TGO).

Рассмотрим порядок обработки результатов спутниковых измерений в данной программе. ПО TGO используется для таких задач, как [5]:

- обработки GPS базовых линий;
- уравнивания сети;
- обработки измерений полученных как с помощью GPS-оборудования, так и с помощью обычных геодезических приборов;
- оценки точности и контроля качества данных;
- импорт и экспорт измерений;
- перевычисление из различных систем координат;
- сбор и экспорт ГИС-данных;
- составление отчета по проекту и др.

ПО TGO организует данные в проектах. Проект обычно охватывает данные, полученные на одном рабочем объекте, и может содержать измерения, полученные в разное время и с помощью оборудования различного типа.

Камеральную обработку результатов GPS-измерений в TGO следует начинать с выбора шаблона для проекта. Этот шаблон обеспечивает проект основной информацией, необходимой для его настройки; то есть единицы измерения, систему координат и параметры настройки дисплея.

Правильный выбор системы координат для проекта имеет очень важное значение, в противном случае TGO вычислит и отобразит неправильные значения координат. После создания проекта необходимо импортировать в него результаты полевых измерений, а именно dat-файлы с GPS-данными (рис. 2).

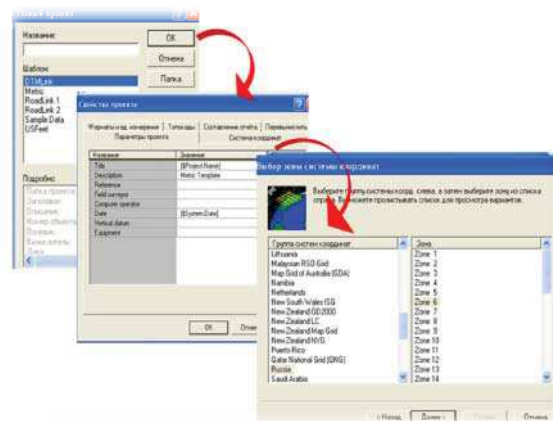


Рис. 2. Создание и настройка проекта

Эти файлы содержат необработанные GPS-данные из приемника Trimble, могут включать кинематические данные для постобработки и статические данные. Они не содержат никакой информации о системе координат, поэтому необходимо проверить, правильно ли определена система координат в проекте. Как только поле-

вые измерения импортированы в TGO, можно увидеть их в графическом окне.

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). Данный модуль позволяет обрабатывать GPS-измерения, включая кинематику, непрерывную кинематику, статику, быструю статику.

GPS-обработка проводится с помощью инструмента «Обработка» на панели проекта.

Статистика обработки базовых линий отображается в диалоговом окне «GPS обработка» (рис. 3) и автоматически сохраняется в стандартном отчете.

GPS обработка					
	Длина базово...	Тип решения	Отношение	ДисперКо...	СКО
<input type="checkbox"/>	1686,915м	L1 Плавающее		2,252	0,006м
<input checked="" type="checkbox"/>	894,848м	L1 Фиксирова...	4,1	5,159	0,011м
<input checked="" type="checkbox"/>	1950,638м	L1 Фиксирова...	3,8	7,152	0,012м
<input checked="" type="checkbox"/>	1105,362м	L1 Фиксирова...	4,6	4,913	0,009м
<input checked="" type="checkbox"/>	1670,657м	L1 Фиксирова...	1,9	7,260	0,014м
<input checked="" type="checkbox"/>	1706,330м	L1 Фиксирова...	3,0	8,360	0,009м
<input checked="" type="checkbox"/>	1950,652м	L1 Фиксирова...	4,9	6,868	0,015м

Рис. 3. Диалоговое окно «GPS обработка»

Здесь приводятся [6]:

- тип решения базовой линии: фиксированный или плавающий;
- критерии точности результатов обработки базовых линий: отношение, коэффициент дисперсии и средняя квадратичная погрешность (СКО) ее определения.

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 по каждому решению вычисляется дисперсия.

Критерий «Отношение» показывает отношение дисперсии второго лучшего фиксированного решения базовой линии к дисперсии первого лучшего фиксированного решения.

При величине «Отношение» 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 [5, 6].

Средняя квадратическая погрешность 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 превышают установленные допуски, такая базовая линия автоматически исключается из дальнейшего уравнивания. Так в нашем случае была исключена из уравнивания базовая линия В1-Р2.

Вместо того, чтобы возвращаться в поле и повторно наблюдать базовые линии, исключенные процессором WAVE из уравнивания, следует сначала просмотреть отчет с результатами обработки. Сведения, содержащиеся в отчете по обработке GPS-измерений, позволяют определить помехи при приеме сигнала от спутника. Потеря приема сигнала отображается дырами и разрывами данных (рис. 4).

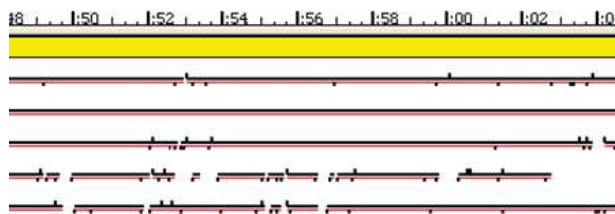


Рис. 4. Сегменты непрерывного отслеживания спутников

Используя данную информацию, можно исключить все или только часть данных по спутнику за тот период времени, когда прием сигналов со спутника был особенно плохим.

Лучше исключать спутники по одному, чтобы определить насколько удаление того или иного спутника влияет на решение базовых линий.

Дополнительным критерием качества решения базовых линий и построения спутниковой сети в целом является вычисление невязок в замкнутых фигурах. В программе TGO создается отчет о замыкании полигонов. Невязки в полигонах позволяют определить базовые линии с погрешностями вне допусков.

Часто источником таких погрешностей являются промахи, допущенные при установке и измерении высоты антенны. Поэтому перед повторной обработкой базовых линий можно выполнить просмотр и редактирование измерений.

На следующем этапе выполняется уравнивание результатов спутниковых измерений с использованием модуля Network Adjustment. Согласно [7], уравнивание выполняется по методу наименьших квадратов. По умолчанию в данном модуле процесс уравнивания выполняется максимум 10 раз, пока не будут выполнены условия по допуску поправок и количеству итераций. Если процесс уравнивания не сходится на десятой итерации, то программа использует допуск «Предел сходимости». Результаты уравнивания выводятся в стандартный отчет. В табл. 2 приведены СКО положения пунктов по результатам полевых измерений без корректирования проблемных данных.

Таблица 2

СКО положения пунктов, м

Пункты	До удаления проблемных данных		
	m_x	m_y	m_z
P1	0,041	0,031	0,050
P2	0,211	0,345	0,252
P3	0,052	0,060	0,078
P4	0,041	0,060	0,052
P5	0,041	0,059	0,052

В целях улучшения результатов уравнивания для базовой линии B1-P2, по которой первоначально было получено плавающее решение, были удалены проблемные данные, влияющие на общее качество GPS-измерений, а также точность положения пунктов. Результаты оценки точности положения пунктов представлены в табл. 3.

Таблица 3

СКО положения пунктов, м

Пункты	После удаления проблемных данных		
	m_x	m_x	m_x
P1	0,040	0,040	0,040
P2	0,047	0,047	0,047
P3	0,044	0,044	0,044
P4	0,041	0,041	0,041
P5	0,042	0,042	0,042

Как видно из табл. 3, после удаления проблемных данных координаты пунктов получены с сантиметровой точностью. Причем точность определения положения пунктов тем выше, чем меньше расстояние от них до базовых станций, и чем больше связей на пункте.

Выводы. На основании вышеизложенного, при определении координат пунктов с использованием GPS-системы Trimble R3 для получения надежных результатов рекомендуется:

- выполнять измерения в течение достаточного периода времени, делать избыточные измерения;
- аккуратно вести и проверять полевые записи при импорте данных в TGO;
- проверять отчет по невязкам в полигонах на предмет больших невязок;
- при обработке базовых линий можно исключать спутники из рассмотрения;
- исключать проблемные базовые линии из сети уравнивания.

Литература

1. Генике, А. А. Глобальная спутниковая система определения местоположения GPS и ее применение в геодезии / А. А. Генике, Г. Г. Побединский. – М.: Картгеоцентр, 1999. – 272 с.
2. Hofmann-Wellenhof, B. Global Positioning System: Theorie and Praxis / B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, J. Collins. – Springer: Wien: New York, 1992. – 306 p.
3. SKI-Static Kinematic Software. User manual. Wold GPS-System 200. – Heerburgg, 1992. – 345 p.
4. Кравченко, О. В. Сравнительный анализ точности определения положения пунктов спутниковым приемником Trimble R3 / О. В. Кравченко, С. Н. Кандыбо // Вестник БГСХА. – 2009. – № 2. – С. 116–118.
5. Trimble Geomatics Office. User manual / Trimble Navigation limited. – U.S.A., 2001. – 144 p.
6. Wave Baseline Processing. User manual / Trimble Navigation limited. – U.S.A., 2001. – 84 p.
7. Network Adjustment. User manual / Trimble Navigation limited. – U.S.A., 2001. – 113 p.

Поступила 14.04.2010