

МЕЛИОРАЦИЯ И ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО

УДК 528.46

КООРДИНИРОВАНИЕ ГРАНИЦ ЗЕМЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ СЪЁМКИ

О. Н. ПИСЕЦКАЯ, Я. В. ИСАЕВА, А. А. ПУШКАРЬ

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Беларусь, 213407, e-mail: Piseckaja@tut.by

(Поступила в редакцию 05.03.2018)

Землеустроительные мероприятия начинаются и завершаются геодезическими работами. При выполнении геодезических работ в настоящее время стали применять новые прогрессивные технологии, современные приборы и инструменты, например аэро- и космическую съемку при картографировании, глобальные навигационные спутниковые системы (ГЛОНАСС и GPS) для определения положения точек земной поверхности. При выполнении съемки земельных участков с использованием спутникового оборудования не всегда представляется возможным соблюдение рекомендаций по среднему расстоянию между ПДП и определяемыми точками. Средневзвешенное расстояние превышает рекомендуемое в 1,5–2 раза (режимы «RTK», «Реокупация»). При использовании режима «стой-иди» – в 4 раза.

При соблюдении иных условий наблюдений (п. 4.1.10) максимальное значение абсолютных погрешностей в режиме «RTK» превысило теоретическое значение на 2 мм, в режиме «Реокупация» – максимальная абсолютная ошибка превысила теоретическое значение более чем в 2 раза, в режиме «стой-иди» – в 1,5 раза.

Приведена характеристика и результаты съемки земельных участков с использованием спутникового оборудования в различных режимах съемки. Получены плановые координаты поворотных точек границ земельных участков. Выполнен сравнительный анализ результатов съемки с требованиями, предъявляемыми техническими нормативными актами.

Ключевые слова: спутниковое оборудование, RTK, быстрая статика, Stop&go, реокупация, погрешность определения координат.

Land management activities begin and end with geodetic work. At the time of geodetic work, new progressive technologies, modern instruments and instruments, such as aerial and space imagery in mapping, global navigation satellite systems (GLONASS and GPS), are used to determine the position of ground points. When surveying land with the use of satellite equipment, it is not always possible to follow recommendations on the average distance between RAP and the determined points. Weighted average distance exceeds the recommended one by 1.5-2 times (modes "RTK", "Reoccupation"). When using the "stop&go" mode – by 4 times.

Under other observation conditions (§ 4.1.10), the maximum value of absolute errors in the "RTK" mode exceeded the theoretical value by 2 mm, in the "Reoccupation" mode – the maximum absolute error exceeded the theoretical value by more than 2 times, in the "stop&go" mode – by 1.5 times.

We have presented characteristics and results of surveying land with the use of satellite equipment in various shooting modes. We have obtained planned coordinates of the turning points of boundaries of land plots. We have conducted a comparative analysis of survey results with the requirements of technical regulations.

Key words: satellite equipment, RTK, fast statics, Stop&go, reoccupation, coordinate determination error.

Введение

Повышаются требования к проведению геодезических работ по установлению и восстановлению на местности границ земельных участков, оформлению планов земельных участков и документов, удостоверяющих право на землю. Все это подтверждает важность геодезических работ при землеустройстве и повышает роль и ответственность специалиста по землеустройству.

Целью исследований является определение наиболее эффективного режима съемки земельных участков с использованием спутникового оборудования.

Для наблюдения базисных линий между пунктами с помощью GPS можно использовать несколько методов. Традиционно, при применении GPS для определения базисных линий

необходимо оставаться в стационарном положении в течение 1 часа. Однако за последние несколько лет был разработан ряд повышающих производительность методов, которые позволяют наблюдателю находиться на базисной линии более короткое время и определять ее гораздо быстрее, не проигрывая в точности.

Основная часть

Стандартные статические наблюдения остаются основным методом наблюдения GPS съемки с момента появления концепции использования GPS для создания опорных сетей.

Выполнение статической GPS-съемки подразумевает установку двух приемников: одного – в опорной точке, другого на станции, положение которой предстоит определить, а также их одновременную работу на протяжении, приблизительно 1 часа в ходе одной сессии съемки [1].

Два приемника должны одновременно отслеживать четыре (или более) спутника, записывать данные с одинаковым периодом и иметь одинаковые значения угла предельного возвышения. Продолжительность сеанса измерений может варьироваться от нескольких минут до нескольких часов.

Требования, предъявляемые к оборудованию и времени наблюдения, отличают быструю статику от других форм GPS съемки, в процессоре базисной линии быстростатической съемки программного обеспечения GPSurvey используются точные псевдодалности и результаты фазовых наблюдений с целью более эффективного определения базисной линии, нежели при статической GPS обработке.

Полевые мероприятия, осуществленные в процессе этой съемки очень схожи с мероприятиями, выполненными в процессе статической съемки, описание которой дается выше, за исключением того, что требования, предъявляемые к продолжительности наблюдений, не являются такими жесткими [2].

Оптимальная продолжительность сессии обсервации определяется опытным путем и зависит от следующих факторов: длины измеряемой базовой линии; количества спутников в поле зрения; геометрического фактора (Dilution of Precision, DOP); расположения антенны; уровня активности ионосферы; типа используемых приемников; требований по точности; необходимости разрешения неоднозначности фазы несущей частоты.

Обычно для осуществления быстростатических съемок нужен один сеанс наблюдений базисной линии продолжительностью, как правило, 5–20 минут. Это намного быстрее, чем одночасовой период наблюдения, необходимый при выполнении стандартных статических съемок, именно этот метод съёмки использовался в исследованиях [1].

В настоящее время одним из эффективных методов геодезической GPS-съемки является кинематическая съемка в режиме RTK, благодаря которой геодезисты могут получать координаты с точностью до нескольких сантиметров непосредственно в полевых условиях. Но, помимо стандартного GPS-оборудования, работа в режиме реального времени требует наличия дорогостоящих средств радиосвязи и, самое главное, получения специального разрешения на использование радиочастоты [3].

Обычно в состав спутникового оборудования для RTK-съемки входит комплект из двух или более двухчастотных приемников GPS с антеннами и полевыми контроллерами. Один комплект, называемый базовой (опорной или референционной) станцией, жестко устанавливаются на пункте с известными координатами. Остальные комплекты, называемые мобильными (подвижными или роверами) приемниками, используют для определения координат объектов съемки. Для получения высокоточных координат в режиме реального времени в состав каждого комплекта включают радиомодемы, задача которых принимать спутниковую и служебную информацию, передаваемую от базовой станции.

При использовании режима Кинематическая съемка в реальном времени (RTK) дифференциальные поправки передаются от базового приемника одному или нескольким подвижным приемникам с тем, чтобы они производили местоопределение в режиме реального времени. В этом режиме необходимо, чтобы базовый приемник имел встроенный или внешний УКВ либо GSM модем для передачи поправок на подвижный приемник, который, в свою очередь, тоже должен иметь соответствующий модем для приема этих поправок. Метод RTK является самым быстрым методом съемки спутниковыми приемниками. Он идеально подходит для топографической съемки, установления границ земельных участков, выноса точек на местность.

Преимущества съемки в режиме RTK очевидны. Во-первых, обеспечивается высокая производительность работы, так как на каждую точку съемки тратится несколько секунд. Во-вторых, качество результатов измерений гарантировано. Исполнитель может записывать готовые

координаты в контроллер, отслеживать их качество и точность в любой момент, а при необходимости – повторить измерения. Режим RTK-съёмки позволяет работать в любых системах координат, включая местные системы координат. Имеется возможность непосредственно в полевых условиях решать стандартные геодезические задачи (определять азимут, расстояние или площадь участка), просматривать результаты съёмки и определять пропущенные участки, выносить на местность проектные данные. В камеральных условиях при передаче рабочего файла в компьютер можно сразу увидеть результаты работы без дополнительной обработки [3].

Режим stop & go (остановка и движение) представляет собой рабочий режим, который выставляется по умолчанию при кинематической съёмке. Согласно этому режиму, подвижный приемник останавливается на пункте, собирает 2–5 эпохи данных (если надо, то и больше), после чего перемещается дальше на следующий пункт. Режимы измерений «стою-иду» (stop & go) и кинематический (Kinematic) позволяют быстро отнаблюдать большое количество точек, но требуют, чтобы приемник удерживал захват спутников в течение всего времени перемещения между точками. На первой точке необходимо находиться до тех пор, пока не будет собрано достаточное количество измерений, чтобы разрешить неоднозначность (период инициализации). После инициализации приемник может перемещаться между точками до тех пор, пока поддерживается захват наблюдаемых спутников. Если захват спутников нарушен, то оператор должен снова оставаться в стационарном положении до тех пор, пока снова не будет собрано достаточного для разрешения неоднозначности количества данных.

Режим измерений «стою-иду» (stop & go) является идеальным для малых площадей, на которых точки наблюдений располагаются рядом друг с другом и на которых отсутствуют препятствия для прохождения радиосигналов от спутников. В этом режиме, как правило, необходимо использовать полевой контроллер для переключения между режимами stop & go, а так же для контроля процесса съёмки [2].

Режим «Реокупация» используется, когда нет одновременной видимости на необходимое число спутников. Тогда измерения выполняют за несколько сеансов, накапливая нужный объем данных. На этапе компьютерной обработки все данные объединяют для выработки одного решения.

В режиме реокупации приемник, установленный на опорной точке, работает непрерывно. Со вторым приемником начинают измерения на первой произвольной точке, наблюдают на ней несколько минут, и обходят следующие точки. Через 1–2 часа полевой приемник возвращается на первую точку, где повторяется та же самая процедура измерений. Во время перемещений приемник может выключаться, так как отслеживать спутники при переходе с точки на точку ему не нужно [10].

Полученные два набора измерений обрабатываются совместно, как один сеанс. Ее применяют в случае плохого геометрического фактора, недостаточного количества спутников или для усиления одночастотных наблюдений. Следует обратить внимание на ограничение величины временного перерыва между посещениями одноименных точек. Разработчики метода и рекомендации фирм ограничивают его величиной 1 – 2, иногда 3 часа [2].

Объектами исследований являлись земельные участки, которые расположены в следующих населенных пунктах Гомельской области – п. Осовок, аг. Губичи, д. Ховхло, д. Смычек, д. Столпище, д. Еленец, д. Столпище, п. Левады, аг. Кривск, п. Ленинский.

При выполнении съёмки с использованием спутникового оборудования близлежащими постоянно действующими пунктами (ПДП) были станции находящиеся в г. Буда-Кошелево или в г. Речице.

Средневзвешенное расстояние между земельными участками и ПДП, съёмка которых выполнялась с использованием спутникового оборудования, составляет от 14,4 до 23,3 км.

Все полученные результаты режима «Быстрой статики» использовались в качестве эталона, так как определение координат пунктов ПДП в ITRS (в реализации ITRF2005) в Республике Беларусь были получены в статическом режиме со средней квадратической погрешностью 1 см в плане и 2 см по высоте при времени наблюдений 1 час.

Была выполнена съёмка 10 участков в режиме быстрой статики. Продолжительность сеансов наблюдений 10–13 минут. Результат – координаты точек земельных участков, принятых за эталонные значения.

Выполнены исследования по съёмке указанных выше десяти земельных участков в различных режимах спутниковых измерений. По результатам измерений также получены координаты земельных участков. Продолжительность сеансов съёмки, в соответствии с требованиями нормативных документов составили: в режиме «RTK» – 9 с; в режиме «Stop & go»

продолжительность съёмки передвижным приемником составляла 1–2 с; в режиме «Реокупация» – 10–12 минут.

По результатам съёмки земельных участков в режимах «RTK», «Stop & Go», «Реокупация» вычислены погрешности определения координат относительно режима «быстрая статика», которые приведены в табл. 1.

Таблица 1. Погрешности определения координат

№ участка	Средневзвешенное значение расстояния от участков до ПДП, м	Погрешности определения координат, м		
		f_x	f_y	$f_{абс}$
режим «RTK»				
1	15554,9996	0,008	-0,009	0,01204
2	17794,592	0,003	-0,008	0,00854
3	23300,253	0,013	-0,008	0,01526
4	22828,566	-0,013	0,012	0,01769
5	20328,652	-0,013	0,013	0,01838
6	19153,785	0,012	-0,002	0,01217
7	20136,394	0,016	-0,001	0,01603
8	16320,434	-0,015	-0,016	0,02193
9	14375,215	0,009	-0,015	0,01749
10	17014,590	0,013	-0,004	0,01360
режим «Реокупация»				
1	15555,0002	0,014	-0,013	0,0191
2	17794,5933	0,006	-0,010	0,0117
3	23300,2543	0,017	-0,015	0,0227
4	22828,5674	-0,019	0,018	0,0262
5	20328,6535	-0,018	0,020	0,0269
6	19153,7844	0,013	-0,008	0,0153
7	20136,3909	0,017	-0,009	0,0192
8	16320,4435	-0,007	-0,008	0,0106
9	14375,2228	0,016	-0,020	0,0256
10	17014,5897	0,015	-0,011	0,0186
режим «Stop & Go»				
1	15554,996	0,014	-0,018	0,0228
2	17794,579	0,000	-0,024	0,0240
3	23300,272	0,026	0,006	0,0267
4	22828,563	-0,004	0,001	0,0041
5	20328,646	-0,026	0,016	0,0305
6	19153,788	0,017	-0,007	0,0184
7	20136,401	0,017	0,006	0,0180
8	16320,433	-0,022	-0,006	0,0228
9	14375,207	-0,004	-0,011	0,0117
10	17014,585	0,014	-0,020	0,0244

По результатам вычисления абсолютных погрешностей определения координат, построены графики по каждому из режимов съёмки (рис. 1,2):

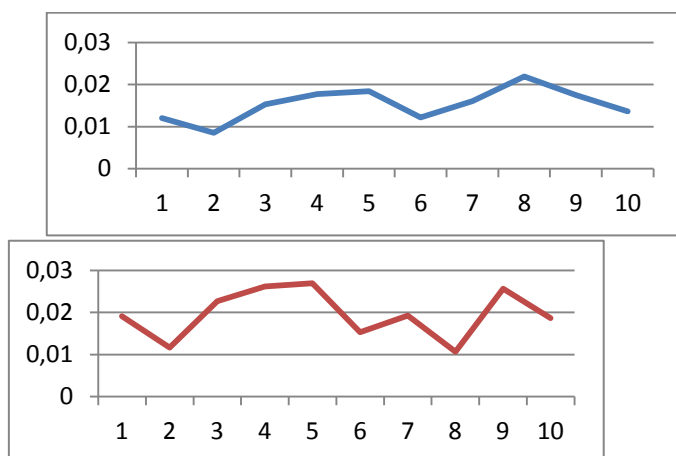


Рис. 1. Режимы RTK и Реокупация

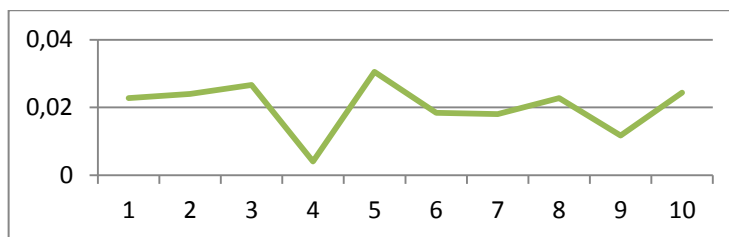


Рис. 2. Режим Stop & go

Анализируя результат вычислений абсолютных погрешностей, можно сделать вывод о том, что графики в режимах съёмки «РТК» и «Реокупации» имеют схожие значения. На графике в режиме «РТК» участок №8 имеет максимальное значение ошибки – 22 мм, хотя его удаленность от пункта ПДП составляет 16,3 км. Рекомендуемое расстояние при использовании данного режима между ПДП и определяемыми точками – 5–10 км. По остальным участкам значения ошибок колеблются незначительно и находятся в пределах 15 мм.

Анализируя рис. 1, можно сделать вывод о том, что зависимость погрешности определения координат аналогична режиму «РТК», но их величина больше и колеблется в пределах от 12 до 17 мм. Рекомендуемое расстояние для выполнения съёмки между ПДП и определяемой точкой – до 10 км [4]. Исследуемые земельные участки находятся на расстоянии от 14,4 км (участок №9) до 23,3 км (участок №3). Но данный фактор незначительно оказал влияние на величину абсолютной погрешности определения координат.

Анализируя рис. 2 – погрешности определения координат в режиме «Stop & Go», следует отметить, что величины погрешностей колеблются в пределах от 18 до 22 мм.

По участку №4, который располагается на расстоянии 22,8 км, абсолютная ошибка минимальна и составляет 4 мм. Рекомендуемое расстояние между ПДП и определяемыми точками в режиме «Stop & Go» составляет до 5 км [4]. Данный участок расположен на максимальном удалении от пункта ПДП, но данный фактор не повлиял в режиме «Stop & Go» на величину ошибки.

Результаты вычисления абсолютных погрешностей и их сопоставление с теоритическим значением приведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты вычислений погрешностей измерений

Режим спутниковых наблюдений	Рекомендуемое расстояние между ПДП и определяемой точкой, км	Средневзвешенное расстояние между ПДП и измеряемым участком, км	Величина абсолютной погрешности (теоретически), мм	Величина рассчитанной абсолютной погрешности, мм
РТК	до 20	15,6	10-20	12
		17,8		9
		23,3		15
		22,8		18
		20,3		18
		19,1		12
		20,1		16
		16,3		22
		14,4		17
		17,0		14
Реокупация	до 10	15,6	10	19
		17,8		12
		23,3		23
		22,8		26
		20,3		27
		19,1		15
		20,1		19
		16,3		11
		14,4		26
		17,0		19
Стой-иди	до 5	15,6	10 -20	23
		17,8		24
		23,3		27
		22,8		4
		20,3		31
		19,1		18
		20,1		18
		16,3		23

		14,4		12
		17,0		24

Анализируя результаты абсолютных погрешностей в табл. 2, следует отметить, что в режиме съемки «RTK», минимальное значение абсолютной погрешности вычисления координат составляет 9 мм, максимальное – 22 мм. В режиме «Реокупация» минимальное значение составляет 11 мм, максимальное – 27 мм. В режиме «Стой-иди» минимальное значение абсолютной погрешности составляет 4 мм, максимальное – 31 мм.

Заключение

На основе вышеизложенного следует отметить, что по рекомендованному расстоянию и величине максимальной абсолютной ошибки, режим измерений «стой-иди» не является эффективным и не рекомендуется к использованию при съемке земельных участков.

Использование режима «Реокупация» превышает теоретическое значение допустимых абсолютных погрешностей в 2 раза, и, по результатам исследований, зависит от величины расстояния между ПДП и точками земельного участка. Величина абсолютной ошибки имеет прямую зависимость от величины расстояния, которая, при использовании данного режима съемки придерживаться не всегда возможно. Следовательно, режим «Реокупация» является не эффективным по соблюдению точностных показателей, требует больших временных затрат, так как съемка выполняется не менее чем в 2 сеанса и не рекомендуется для использования при съемке земельных участков.

Выполнив анализ результатов съемки в режиме «RTK», можно отметить что, несмотря на превышение рекомендуемого расстояния в 1,5–2 раза между ПДП и точками земельного участка, абсолютные погрешности определения координат по 9 из 10 участков соответствуют теоретическим значениям абсолютных погрешностей, рекомендуемым [4].

Следовательно, режим съемки в режиме «RTK» является наиболее эффективным при съемке земельных участков относительно временных затрат и соответствует предъявляемым требованиям к абсолютным погрешностям, что подтверждено экспериментально.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методы съемки при использовании GNSS приемников. [Электронный ресурс] / Геотрейд геодезическое оборудование Sokkia & Topcon – Режим доступа: <http://geotrade.su/catalog/metody-semki-pri-ispolzovanii-gnss-priemnikov/> – Дата доступа: 07.01.2018.
2. Режимы и методы спутниковых геодезических измерений. | Инженерная геодезия. Часть 2. | Учебная база. [Электронный ресурс] / Библиотека инженера геодезиста. Собрание учебных пособий по инженерной защите. – Режим доступа: <https://injzashita.com/rejimi-i-metodi-sputnikovix-geodezicheskix-izmereniie.html>. – Дата доступа: 07.01.2018.
3. GPS-съемка в режиме RTK. [Электронный ресурс] / Блог по картографии и навигации «GeoBlog.ru» - Самое интересное из мира геодезии, картографии и навигации – Режим доступа: <http://geoblog.ru/technology/gps-semka-v-rezhime-rtk-s-primeneniem-mobil/> – Дата доступа: 07.01.2018.
4. Руководство по производству съемки земельных участков с использованием постоянно действующих пунктов: ГКНП 10-013-2012. – Введ. 10.05.2012 – Минск: Гос. комитет по имуществу Республики Беларусь, 2014. – 47 с.