

НОВЫЕ ГОРИЗОНТЫ ТЕХНОЛОГИИ GSM RTK

В.С. Мельников («Эффективные технологии»)

В 1986 г. окончил факультет прикладной космонавтики МИИГАиК по специальности «космическая геодезия». После окончания института работал в НИИ приборостроения, с 1990 г. — в МАГП, ПГЦ «Астровега» и МТЭ, а с 2005 г. — в ЗАО «НАВГЕОКОМ». С 2009 г. по настоящее время — ведущий инженер учебного центра ООО «Эффективные технологии».

И.Д. Корнишов («Эффективные технологии»)

В 2008 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «прикладная геодезия». После окончания университета работал в ЗАО «Картгеобюро», с 2009 г. — в ЗАО «Гравиразведка». С 2010 г. по настоящее время — инженер технической поддержки ООО «Эффективные технологии».

Технология определения пространственных координат с помощью спутниковых геодезических измерений в режиме реального времени давно зарекомендовала себя как эффективное средство топографо-геодезического производства. В зависимости от используемого оборудования и методик, точность измерений может быть от нескольких метров при сборе и обновлении данных для ГИС-проектов до нескольких сантиметров и выше при выполнении высокоточных исполнительных съемок и разбивочных работ.

Традиционно корректирующие данные подвижному приемнику в режиме реального времени (технология RTK) передаются от базового приемника с помощью радиомодемов УКВ-диапазона либо ретрансляторами со спутников уточняющих дифференциальных подсистем (EGNOS, WAAS, MSAS и др.) — технология DGPS.

В последнее десятилетие широкому применению технологии RTK в геодезии способствует активное развитие средств мобильной связи, территории покрытия которыми постоянно расширяются. Средства мобильной связи имеют малый вес и размер, не требуют

оформления разрешений на использование радиочастот, их операторы предлагают достаточно гибкие тарифы связи, и они находят широкую поддержку со стороны производителей спутникового геодезического оборудования.

С развитием сетей постоянно действующих базовых станций и внедрением сетевых решений по предоставлению различных дифференциальных сервисов, таких как VRS-сети и децентрализованные NTRIP-серверы, спутниковые геодезические измерения в режиме реального времени выходят на новый качественный уровень.

Заявляемые производителями и подтвержденные многолетним опытом работ преимуществами технологии RTK сомнений не вызывают. Однако ряд вопросов, касающихся как технологического характера, так и точности определения пространственных координат, порождает множество дискуссий и ложных предпосылок при выборе метода для проведения геодезических работ различного назначения и класса точности. К таковым можно отнести следующие основные позиции:

— влияние качества исходных координат пунктов опор-

ных геодезических сетей (как государственных, так и ведомственных);

— наличие множества местных (региональных) плоских прямоугольных систем координат и отсутствие сведений о параметрах их задания;

— эффективность использования мультисистемных спутниковых приемников глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) GPS и ГЛОНАСС;

— специфика работы в сложных условиях (застроенная или покрытая густой растительностью территория);

— необходимость строгого соблюдения требований нормативных документов и методических рекомендаций при измерениях.

Наряду с очевидными преимуществами, технологии RTK, основанные на использовании сотовых каналов связи, имеют специфические ограничения и недостатки. К ним относится остающееся актуальным неравномерное покрытие сотовой связью либо полное ее отсутствие на обширных «малообжитых» территориях, которые в геодезическом смысле такими не являются. Необходимость наличия специальной услуги, осуществляющей пакетную пе-

редачу данных (в случае использования голосовых каналов связи), или доступа к сети Интернет (GPRS) ставит эти работы в зависимость от качества услуг сотовой связи, ее стабильности и особенностей настроек у региональных операторов сетей.

Самостоятельным параметром, кардинально влияющим на точность спутниковых измерений как в режиме «статика», так и «кинематика», является удаленность подвижного приемника от базовой станции. Из многочисленных исследований и практического опыта пользователей геодезического GPS-оборудования следует, что длина базовых линий при измерении в режиме «кинематика» не должна превышать 15–20 км. При увеличении дальности точность заметно снижается, а время инициализации — увеличивается. И это при прочих хороших условиях наблюдений: отсутствия препятствий для прохождения сигналов, достаточного количества спутников системы GPS и их благоприятного расположения на небосводе (геометрический фактор).

С появлением приемников ГНСС, работающих не только с

системой GPS, но и с ГЛОНАСС (а в перспективе и с другими системами — Galileo (Евросоюз), COMPASS (Китай) и др.), ожидается заметное улучшение точности, оперативности и надежности измерений пространственных координат. С пополнением и окончательным вводом в строй системы ГЛОНАСС приемники ГНСС будут иметь возможность отслеживать около 20 спутников различных систем одновременно, что даст достаточную избыточность для высокоточных оперативных наблюдений.

Обычно технология проведения топографо-геодезических работ подразумевает развитие геодезических сетей посредством GPS или GPS/ГЛОНАСС измерений в режиме «статика». На объекте определяются пространственные координаты нескольких точек, а дальнейшее сгущение съемочной планово-высотной сети осуществляется с помощью электронного тахеометра. Данная технология позволяет пользователям с достаточно высокой точностью и производительностью выполнять работы при удалении от базовой станции до 50–70 км при использовании

двухчастотного оборудования и 15–20 км — при использовании одночастотного оборудования. Также часть задач может быть решена в режиме «кинематика с постобработкой» (РРК) при наличии управляющего устройства в виде контроллера и несложных условий наблюдения.

Применение режима RTK имеет ряд преимуществ перед стандартной технологией: высокая производительность, контроль получаемых данных непосредственно в поле, в ряде случаев позволяющий отказаться от постобработки. Но расстояние от базовой станции в режиме RTK при использовании оборудования GPS обычно ограничивается 15–20 км.

Целью описываемого в статье эксперимента являлось исследование стабильности точности, оперативности и надежности спутниковых измерений с передачей корректирующих данных от базовой станции по технологии GSM RTK (с помощью GSM-модемов), а также оценка возможности выполнения работы оборудованием ГНСС при больших длинах базовых линий. В данном случае использовался GSM-модем EFT, разработанный компанией «Эффективные технологии», и спутниковые приемники Trimble. Следует отметить, что мобильная связь потенциально дает возможность вести работу на значительном удалении от постоянно действующей базовой станции, но геометрические и физические условия спутниковых наблюдений не позволяют получить высокую точность и обеспечить оперативность измерений.

Для исследований было выбрано три участка с пятью контрольными станциями измерений (рис. 1), расположенными относительно базового приемника на расстояниях:

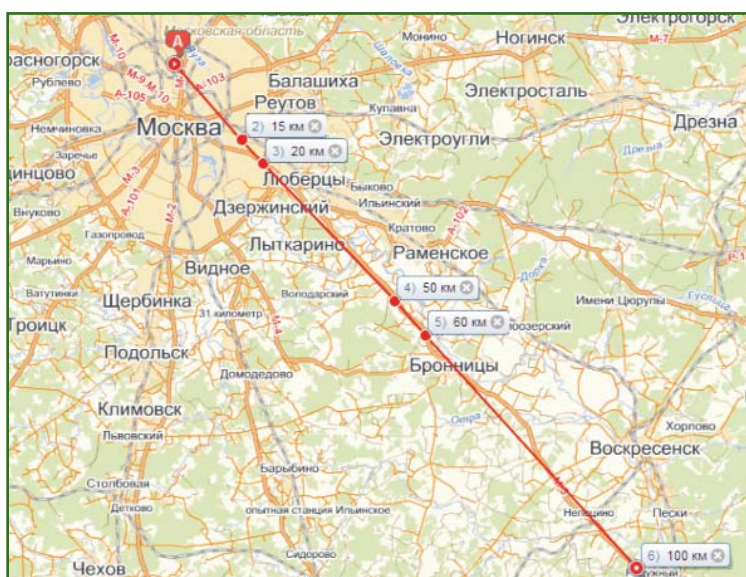


Рис. 1

Схема расположения контрольных станций



Рис. 2
Тахеометр Nikon NPR332,
установленный на базе

— 15 и 20 км (контрольные станции 2 и 3) — приемлемая дальность для высокоточных измерений в режиме RTK;

— 50 и 60 км (станции 4 и 5)

— «рискованное» удаление подвижного приемника от базовой станции;

— около 100 км (станция 6)

— заведомо недопустимое расстояние до базовой станции для режима «кинематика», вообще, и для RTK, в частности.

Базовая станция (А, рис. 1) размещалась в Москве, в районе Останкино, и работала в режиме RTK с записью «сырых» данных. Места для контрольных станций выбирались с максимально открытым небосводом, вдали от объектов, которые могли создавать помехи. Станции измерений располагались в юго-восточном направлении: первые две — в районе Текстильщики — Выхино, следующие — вдоль Новорязанского шоссе. Кроме контрольных

станций, данные с которых вошли в сводную таблицу исследований, имелись и промежуточные — вспомогательные станции, на которых оценивалось время инициализации.

В результате исследования определялась точность измерения пространственных координат контрольных точек станда. Стенд представлял собой прямоугольный столик с пятью отверстиями (одно в центре и че-



Рис. 3
Приемник Trimble R7GNSS

тыре по углам) для принудительного центрирования отражателя и спутниковых антенн. Геометрический центр каждого отверстия являлся контрольной точкой.

Координаты контрольных точек станда определялись в локальной системе координат с их последующей редукцией на поверхность относимости станда (горизонтальную плоскость, совпадающую с плоскостью столика) при постобработке.

Установочные приспособления для принудительного центрирования обеспечивали постоянство элементов редукции на поверхность относимости станда, что минимизировало ошибки, связанные с учетом высоты антенн и отражателя.

Комплект оборудования для исследований включал:

— тахеометр Nikon NPR332 (рис. 2) с отражателем (мини призма);

— приемник Trimble R7GNSS с GSM-модемом EFT (устанавливался на базовой станции);

— приемник Trimble R7GNSS — подвижный комплект (рис. 3);

— приемник Trimble R8GNSS — подвижный комплект с GSM-модемом (рис. 4);

— контроллер Trimble TSC2;

— комплект установочных приспособлений для принудительного центрирования антен-



Рис. 4
Приемник Trimble R8GNSS со
встроенным GSM-модемом и
отражатель

Условия наблюдений на контрольных точках

Таблица 1

Номер станции	Расстояние до базовой станции, м	Среднее отклонение в плане, м	Среднее отклонение по высоте, м	СКО, м	Количество спутников	PDOP	Время инициализации, с
2	14 800	0,013	0,020	0,005	12–13	1,6	7
3	18 400	0,010	0,016	0,005	12–14	1,6	15
4	47 100	0,009	0,170	0,006	12–14	1,6	21
5	56 900	0,011	0,180	0,005	10	2,4	43
6	101 900	0,018	0,250	0,014	12–13	1,8	48



Рис. 5
Контрольный стенд и приемник ГНСС, установленные на базе

динат на контрольных точках стенда приемником ГНСС (Trimble R8GNSS) в режиме GSM RTK. Время измерений на каждой из пяти контрольных точек составляло не более 1 минуты. Выполнялось по одному измерению на каждой точке.

Таким образом, пространственные координаты контрольных точек стенда, вычисленные по спутниковым наблюдениям в режиме «статика» и измеренные электронным тахеометром, принимались за «эталонные» и использовались для оценки точности спутниковых измерений пространственных координат контрольных точек в режиме GSM RTK. Оценивались как абсолютные значения координат контрольных точек, полученные различными методами,

ны спутникового приемника и отражателя;

— прямоугольный столик с контрольными точками.

Работы в ходе исследования на каждой станции были организованы следующим образом.

1. Разбивка базиса длиной около 50 м. Он располагался примерно перпендикулярно направлению от базового приемника на контрольную станцию. На одной точке базиса размещался приемник ГНСС (и электронный тахеометр), а на противоположной (контрольной станции) — прямоугольный столик, закрепленный на штативе (рис. 5).

2. Измерения приемниками ГНСС в режиме «статика» в течение 1 часа на точках базиса. Антенна одного приемника (Trimble R7GNSS) устанавливалась на штативе, а второго (Trimble R8GNSS) — в центре столика, также закрепленного на штативе.

3. Измерение длины базиса и расстояний до контрольных точек стенда электронным тахеометром по отражателю.

4. Последовательные измерения пространственных коор-

Отклонение значений абсолютных координат контрольных точек, измеренных в режиме GSM RTK, от «эталонных» Таблица 2

Номер контрольной точки на станции	δX , м	δY , м	δH , м	δS , м	$\delta S_{ср.}$, м	$\delta H_{ср.}$, м
2_с	0,002	0,003	0,054	0,004	0,008	0,024
2_1	-0,006	0,003	-0,007	0,007		
2_2	0,002	-0,005	-0,020	0,005		
2_3	-0,007	0,008	-0,028	0,011		
2_4	-0,012	0,004	-0,010	0,013		
3_с	0,005	-0,006	-0,020	0,008	0,008	0,015
3_1	-0,003	0,001	-0,007	0,003		
3_2	0,005	-0,012	0,015	0,013		
3_3	0,008	-0,005	-0,008	0,009		
3_4	0,002	-0,008	-0,010	0,008		
4_с	0,005	0,000	-0,033	0,005	0,008	0,029
4_1	-0,001	0,001	-0,063	0,001		
4_2	0,012	-0,005	-0,008	0,013		
4_3	0,010	0,007	-0,025	0,012		
4_4	0,005	-0,008	-0,016	0,009		
5_с	-0,005	0,007	0,005	0,009	0,011	0,013
5_1	0,004	0,014	0,024	0,015		
5_2	0,010	-0,002	-0,001	0,010		
5_3	0,005	0,003	0,015	0,006		
5_4	-0,015	0,000	-0,022	0,015		
6_с	0,008	-0,049	-0,074	0,050	0,017	0,019
6_1	0,003	-0,005	-0,005	0,006		
6_2	-0,017	0,002	-0,004	0,017		
6_3	-0,003	0,005	0,009	0,006		
6_4	0,004	0,002	0,005	0,004		

Оценка относительной точности измерения пространственных координат

Таблица 3

Номер станции	GSM RTK		«Статика + тахеометр»		«Эталон»		Разница между «Статика + тахеометр» и GSM RTK		Разница между «Эталон» и GSM RTK	
	D1, м	D2, м	D1, м	D2, м	D1, м	D2, м	$\delta D1$, м	$\delta D2$, м	$\delta D1$, м	$\delta D2$, м
2	0,970	0,947	0,964	0,960	0,950	0,955	-0,005	0,012	-0,020	0,008
3	0,951	0,956	0,960	0,958			0,009	0,002	-0,001	-0,001
4	0,963	0,949	0,962	0,955			-0,002	0,007	-0,013	0,006
5	0,986	0,953	0,962	0,958			-0,024	0,005	-0,036	0,002
6	0,964	0,957	0,965	0,959			0,001	0,002	-0,014	-0,002

Примечания:

1. В графе «GSM RTK» приведены значения диагоналей, вычисленные по результатам спутниковых измерений в режиме GSM RTK.
2. В графе «Статика + тахеометр» приведены значения диагоналей, вычисленные по результатам измерений на базисе спутниковыми приемниками в режиме «статика» и электронным тахеометром.
3. В графе «Эталон» приведены «эталонные» значения диагоналей между контрольными точками станда, измеренные рулеткой.
4. D1 и D2 — диагонали между контрольными точками станда.

так и их относительные значения по диагоналям контрольных точек станда. Длины диагоналей контрольных точек были измерены мерной рулеткой и приняты за «эталонные».

В табл. 1 приведены условия и точность наблюдений на контрольных точках станда каждой станции по данным контроллера, которые показывают хорошую внутреннюю сходимость результатов измерений.

По результатам измерения пространственных координат контрольных точек в режиме GSM RTK и их «эталонным» значениям («Статика + тахеометр») были вычислены средние значения отклонения абсолютных значений координат точек в плане ($\delta S_{\text{ср.}}$) и по высоте ($\delta H_{\text{ср.}}$) на каждой станции (табл. 2). Полученные результаты показывают, что плановое и высотное отклонение абсолютных координат контрольных точек практически не зависит от расстояния до базового приемника.

Оценка относительной точности измерения пространственных координат различными методами была получена из сравнения длин диагоналей на разных станциях (табл. 3).

Наблюдение не менее 12–15 спутников GPS и ГЛОНАСС одновременно, стабильность GSM-связи на протяжении всех измерений и благоприятные условия спутниковых измерений позволили получить среднюю квадратическую погрешность определения абсолютных пространственных координат приемниками ГНСС в режиме GSM RTK на различных расстояниях от базового приемника в пределах от 1 до 3 см, при сохранении малого времени инициализации — не более 1 минуты. Данный результат, в целом, достигался и на удалении от базовой станции в 20 км, 50–60 км и, даже, на 100 км.

Таким образом, при хорошем покрытии района вышками мобильной связи и относительно несложных условиях наблюдений пользователи, применяя технологию GSM RTK, смогут повысить производительность топографо-геодезических работ в несколько раз. При этом организациям, использующим оборудование компании Trimble, для перехода от технологии с постобработкой («статика», «кинематика») к измерениям в режиме реального времени

(RTK) достаточно приобрести комплект внешних GSM-модемов.

Очевидно, что на основании представленного объема исследований делать окончательные выводы преждевременно, но результаты тестовых измерений однозначно указывают на широкие перспективы использования технологии GSM RTK во многих направлениях геодезического обеспечения при выполнении измерений с помощью оборудования ГНСС. Кроме того, полученные результаты могут внести существенные коррективы при разработке стратегии построения сетей постоянно действующих базовых станций.

RESUME

Results of the studies are given, and based on those a conclusion is done on the possibility of defining the absolute spatial coordinates with an accuracy of 1 to 3 cm using the GNSS receivers in the GSM RTK mode. For this experiment the initialization time does not exceed 1 minute and the offset range from the base station is less than 100 km. Equipment by the Trimble company and the self-designed GSM-modem were used in this experiment.