

# ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОБОРУДОВАНИЯ ГНСС КОМПАНИИ JAVAD GNSS

**М.О. Любич** («УГТ-Холдинг», Екатеринбург)

В 2011 г. окончил Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина с присвоением квалификации «инженер» по специальности «астрономогеодезия». После окончания университета работает в ЗАО «УГТ-Холдинг», в настоящее время — технический специалист.

**Д.В. Рычков** («УГТ-Холдинг», Екатеринбург)

В 2013 г. окончил Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина с присвоением квалификации «инженер» по специальности «астрономогеодезия». С 2012 г. работает в ЗАО «УГТ-Холдинг», в настоящее время — технический специалист.

Использование глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) в таких сферах как навигация, управление и мониторинг транспортных средств и в настоящее время стало вполне обыденным явлением. Не является исключением и геодезия как отрасль производственной и научной деятельности.

В связи с распространением геодезических спутниковых приемников, работающих с двумя и более ГНСС, у специалистов возникает ряд вопросов об эффективности работы с той или иной системой, например, с ГЛОНАСС или GPS.

Вследствие малого наклона плоскостей орбит спутников GPS (53–55°) по сравнению с наклоном плоскостей орбит спутников ГЛОНАСС (64–65°) над плоскостью экватора при работе в полярных и приполярных районах Российской Федерации возникают трудности с инициализацией приемников GPS [1]. В этих условиях единственно возможным является

использование системы ГЛОНАСС как основной ГНСС для проведения геодезических работ. У многих производителей спутниковых геодезических приемников GPS является основной, а ГЛОНАСС служит уточняющей системой, необходимой только для корректировки позиции приемника. Инициализация приемника по ГЛОНАСС в таком случае невозможна, либо затруднительна.

В настоящее время группировка спутников ГЛОНАСС полностью развернута (в системе задействовано 28 космических аппаратов, 24 из которых используются по целевому назначению) [1]. Основная отличительная особенность спутниковой группировки ГЛОНАСС от GPS — это передача непрерывных навигационных сигналов каждым космическим аппаратом на собственной несущей частоте в поддиапазонах L1 и L2 (1600 и 1250 МГц). Поэтому приемная аппаратура ГЛОНАСС должна определять сигнал конкретного спутника в

общем входящем сигнале от всех видимых спутников посредством назначения различных частот каналам слежения [2]. Кроме того, в приемнике ГНСС должен быть предусмотрен алгоритм, позволяющий уменьшать в электрических цепях приемника задержку сигнала спутника, величина которой зависит от частоты сигнала, а так как каждый спутник ГЛОНАСС имеет собственную частоту, то, следовательно, вносит отличную от других задержку сигнала.

Одним из немногих производителей, официально заявившим о поддержке работы только с системой ГЛОНАСС, является компания JAVAD GNSS. В спутниковых приемниках компании применена методика калибровки задержек (межканальных сдвигов), возникающих в его аппаратной части, в режиме реального времени.

Специалисты компании «УГТ-Холдинг» провели сравнительные тестовые испытания точности измерений приемни-

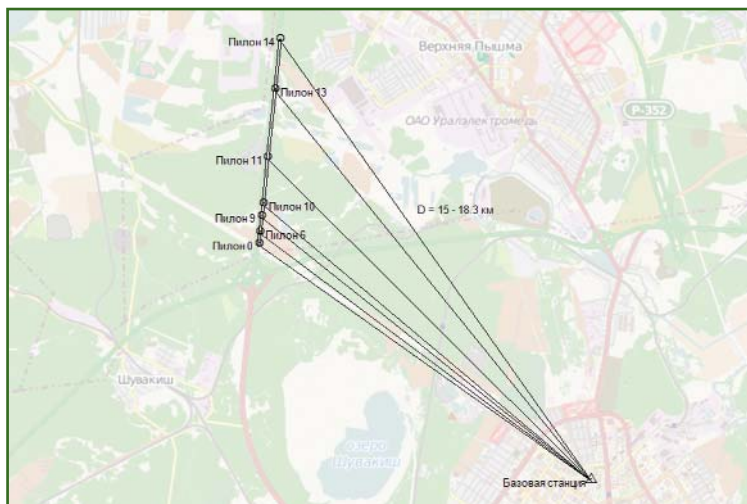


Рис. 1

Схема измерений при тестовых испытаниях приемника TRIUMPH-2

ком ГНСС TRIUMPH-2 при работе с двумя системами (GPS и ГЛОНАСС), только с GPS и только с ГЛОНАСС. Измерения выполнялись в режимах «статика» и «кинематика в реальном времени» (RTK), в разное время суток и с различными интервалами записи. Схема измерений приведена на рис. 1. В качестве контрольных точек использовались пилоны линейного метрологического базиса с номерами 0, 6, 9, 10, 11, 13 и 14.

Перед началом тестовых испытаний была проведена калибровка метрологического базиса путем наблюдений приемниками ГНСС в режиме «статика» (не менее 30 минут на каждом пилоне), обработки и уравнивания векторов (как от базовой станции, так и между пилонными) с контролем по незамкнутым контурам (полигонов). Пространственное положение центров пилонов было получено в местной системе координат МСК-66 относительно удаленной базовой станции. Погрешность определения координат пилонов с доверительной вероятностью 95% составила: по оси X — 0,6 см, по оси Y — 0,4 см, а по высоте (H) — 0,9 см.

Полевые работы по тестовым испытаниям включали два этапа.

**Первый этап.** Измерения проводились на небольших расстояниях с последующим увеличением длины базовой линии. Необходимо было выяснить: зависит ли погрешность определения приращений координат от длины базовой линии при использовании сигналов GPS и ГЛОНАСС совместно и по отдельности. Приращения координат до пилонов с номерами 6, 9, 11, 13 и 14 определялись относительно

пилона метрологического базиса с номером 0 (рис. 1). На нем в качестве базовой станции использовался приемник TRIUMPH-VS (рис. 2) и передающая аппаратура для измерения в режиме RTK (рис. 3). Измерения на каждом из пилонов проводились последовательно в двух режимах: «статика» и RTK. При этом записывалось время инициализации и среднее количество наблюдаемых спутников. Перед каждым сеансом измерений осуществлялся программный сброс альманаха спутников, поэтому



Рис. 2

Приемник TRIUMPH-VS, установленный на пилоне 0 метрологического базиса

интервал между сеансами измерений составлял не менее



Рис. 3

Приемник TRIUMPH-VS с передающей аппаратурой для режима RTK, установленный на пилоне 0





Рис. 4

Приемник TRIUMPH-2, установленный на пилоне 11

5 минут. На каждом пилоте было выполнено по шесть измерений (рис. 4).

Значение средней квадратической погрешности (СКП) измерения в плане в каждом сеансе наблюдений рассчитывалось по формуле:

$$m_s = (m_{\Delta x}^2 + m_{\Delta y}^2)^{1/2},$$

где  $m_{\Delta x}$  — средняя квадратическая погрешность определения приращения координат по оси X;  $m_{\Delta y}$  — средняя квадратическая погрешность приращения координат по оси Y в конкретном сеансе наблюдений.

Значение СКП определения высоты в каждом сеансе наблюдений рассчитывалось по формуле:

$$m_h = |h_{эт} - h|,$$

где  $h_{эт}$  — эталонное значение высоты (значение высоты, полученное при калибровке метрологического базиса);  $h$  — измеренное значение высоты в сеансе наблюдений.

При тестировании аппаратуры величина допустимого абсолютного расхождения между результатами измерений (допуск) определялся по формулам [3]:

$$M_s^{доп} = 2M_s \text{ (в плане);}$$

$$M_h^{доп} = 2M_h \text{ (по высоте),}$$

где  $M_s$  — средняя квадратическая погрешность измерения приращений координат и расстояний;  $M_h$  — средняя квадратическая погрешность измерения высот.

Величины  $M_s$  и  $M_h$  определялись для конкретной длины базовой линии  $D$  и значений постоянных величин  $a$  и  $b$ , задаваемых производителем в документации на конкретный вид аппаратуры, по формуле:

$$M = a + b10^{-6}D.$$

Для приемника TRIUMPH-2 производителем заявлены следующие значения постоянных величин при измерении в режиме RTK [4]:

$$a = 0,010 \text{ м, } b = 1 \text{ (в плане);}$$

$$a = 0,015 \text{ м, } b = 1 \text{ (по высоте).}$$

По результатам обработки измерений, выполненных на первом этапе, было установлено следующее.

1. Погрешности координат в режиме «статика» не показали существенных отличий от эталонных значений и не представлены в данной статье.

2. Результаты тестовых измерений в режиме RTK при работе только с ГЛОНАСС, только с GPS и с двумя системами (GPS и ГЛОНАСС) представлены в табл. 1–3.

**Второй этап.** На этом этапе испытания измерения выполнялись от постоянно действующей базовой станции, находящейся на значительном расстоянии от метрологического базиса (рис. 1). Методика проведения работ была аналогичной первому этапу, а приемник TRIUMPH-2 последовательно устанавливался на пилоны метрологического базиса с номерами 0, 6, 9, 11, 13 и 14 (рис. 5). Время измерения в режиме «статика» рассчитывалось по формуле:

$$t_e = t_{const} + t_0 L_i,$$

где  $t_e$  — общее количество времени, необходимое для записи файла в приемник для конкретной длины базовой линии;  $t_{const}$  — минимальное время записи файла в приемник, рассчитанное согласно количеству частот, используемых в приемнике ГНСС;  $t_0$  — временной коэффициент, зависящий от частотной и системной конфигурации приемника



Рис. 5

Приемник TRIUMPH-2, установленный на пилоне 0 метрологического базиса

Результаты тестовых измерений в режиме RTK (только ГЛОНАСС)

Таблица 1

Номер пилона	Расстояние до пилона с номером 0, км	Время инициализации, с	СКП, см		Допуск, см		Количество спутников
			в плане	по высоте	в плане	по высоте	
6	0,2	80	1,8	0,3	2,0	3,0	6
9	0,5	54	1,1	1,7	2,1	3,1	7
11	1,5	80	1,3	3,1	2,3	3,3	5
13	2,7	33	2,5	2,7	2,5	3,5	5
14	3,6	56	2,3	2,7	2,7	3,7	6
Среднее		60	1,8	2,1	2,3	3,3	6

Результаты тестовых измерений в режиме RTK (только GPS)

Таблица 2

Номер пилона	Расстояние до пилона с номером 0, км	Время инициализации, с	СКП, см		Допуск, см		Количество спутников
			в плане	по высоте	в плане	по высоте	
6	0,2	4	0,8	0,6	2,0	3,0	9
9	0,5	71	2,4	3,0	2,1	3,1	9
11	1,5	25	1,1	1,8	2,3	3,3	6
13	2,7	104	0,7	0,5	2,5	3,5	6
14	3,6	27	1,6	2,7	2,7	3,7	7
Среднее		46	1,3	1,8	2,3	3,3	7

Результаты тестовых измерений в режиме RTK (GPS и ГЛОНАСС)

Таблица 3

Номер пилона	Расстояние до пилона с номером 0, км	Время инициализации, с	СКП, см		Допуск, см		Количество спутников
			в плане	по высоте	в плане	по высоте	
6	0,2	12	1,1	1,0	2,0	3,0	7+5
9	0,5	6	2,0	3,1	2,1	3,1	8+5
11	1,5	3	1,6	0,7	2,3	3,3	7+7
13	2,7	4	2,4	1,2	2,5	3,5	6+5
14	3,6	4	2,5	3,1	2,7	3,7	8+5
Среднее		6	2,0	1,9	2,3	3,3	7+5

ГНСС;  $L_i$  — длина базовой линии для конкретного измерения [1].

Следует отметить, что на втором этапе погрешности в определении координат в режиме «статика» не показали существенных отличий от эталонных значений и не представлены в данной статье. А средние значения погрешностей составили 1–3 см.

В режиме RTK время было искусственно ограничено количеством приходящих с базовой

станции эпох (30 эпох на одно измерение). Результаты испытаний на втором этапе в режиме RTK при работе только с ГЛОНАСС, только с GPS и с двумя системами (GPS и ГЛОНАСС) представлены в табл. 4–6.

По результатам тестовых испытаний видно, что при всех типах измерений — только с ГЛОНАСС, только с GPS и с двумя системами (GPS и ГЛОНАСС) — среднее значение СКП в плане и по высоте находится в пределах точности, удовлетво-

ряющей требованиям, установленным производителем для геодезической аппаратуры ГНСС при измерениях в режиме RTK [4].

Можно сделать вывод, что значения погрешностей, полученные с использованием как только ГЛОНАСС, так и с помощью двух систем (ГЛОНАСС и GPS), отличаются друг от друга незначительно, а увеличение длины базовой линии (в пределах 20 км) практически не влияет на результат.

Результаты тестовых измерений в режиме RTK (только ГЛОНАСС)

Таблица 4

Номер пилона	Расстояние до базовой станции, км	Время инициализации, с	СКП, см		Допуск, см		Количество спутников
			в плане	по высоте	в плане	по высоте	
0	15,0	57	2,0	3,2	5,0	6,0	8
6	15,2	70	1,9	3,1	5,0	6,0	7
9	15,5	90	0,3	5,1	5,1	6,1	6
11	16,4	80	3,3	1,3	5,3	6,3	7
13	17,5	55	2,4	1,3	5,5	6,5	5
14	18,3	78	1,7	5,0	5,7	6,7	7
Среднее		72	1,9	3,2	5,3	6,3	7

Результаты тестовых измерений в режиме RTK (только GPS)

Таблица 5

Номер пилона	Расстояние до базовой станции, км	Время инициализации, с	СКП, см		Допуск, см		Количество спутников
			в плане	по высоте	в плане	по высоте	
0	15,0	15	1,5	3,2	5,0	6,0	9
6	15,2	15	2,7	1,7	5,0	6,0	9
9	15,5	9	2,8	2,0	5,1	6,1	9
11	16,4	40	1,2	4,4	5,3	6,3	6
13	17,5	4	3,7	1,3	5,5	6,5	7
14	18,3	77	3,8	4,2	5,7	6,7	7
Среднее		27	2,6	2,8	5,3	6,3	8

Результаты тестовых измерений в режиме RTK (GPS и ГЛОНАСС)

Таблица 6

Номер пилона	Расстояние до базовой станции, км	Время инициализации, с	СКП, см		Допуск, см		Количество спутников
			в плане	по высоте	в плане	по высоте	
0	15,0	9	0,3	3,0	5,0	6,0	8+8
6	15,2	4	1,7	1,3	5,0	6,0	8+6
9	15,5	5	3,7	0,2	5,1	6,1	8+7
11	16,4	4	2,2	0,0	5,3	6,3	6+7
13	17,5	4	1,0	2,4	5,5	6,5	6+5
14	18,3	12	3,1	2,5	5,7	6,7	7+6
Среднее		6	2,0	1,6	5,3	6,3	7+6

Единственное, что существенно влияет на производительность работ — это достаточно продолжительное время инициализации приемника на измеряемой точке при использовании только ГЛОНАСС. Но если условия таковы, что работа с GPS невозможна или затруднена, то применение только системы ГЛОНАСС может стать

реальным выходом в данной ситуации.

#### ▼ Список литературы

1. Информационно-аналитический центр координатно-временного и навигационного обеспечения ФГУП «ЦНИИмаш». — [www.glonass-center.ru](http://www.glonass-center.ru).

2. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. Том 1.

— М.: ФГУП «Картгеоцентр», 2005.

3. МИКГ 43-05. Методика института. Спутниковая геодезическая аппаратура. Методы и средства поверки — М.: ФГУП «ЦНИИГАиК», 2005.

4. TRIUMPH-2 спецификация, ревизия 1.3 от 14.08.2014. — [www.javad.com/downloads/javad-gnss/sheets/TRIUMPH-2\\_Data-sheet.pdf](http://www.javad.com/downloads/javad-gnss/sheets/TRIUMPH-2_Data-sheet.pdf).