

# СЕРВИС КОРРЕКЦИИ TERRASTAR — САНТИМЕТРОВАЯ ТОЧНОСТЬ БЕЗ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ

**А.Н. Воронов** («ГНСС плюс»)

В 2002 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «космическая геодезия». С 2005 г. работал в ЗАО «ПРИН», с 2013 г. — в Группе компаний «Геодезия и Строительство». С 2019 г. работает в ООО «ГНСС плюс», в настоящее время — директор по развитию.

**Д.А. Никулин** («ГНСС плюс»)

В 1999 г. окончил МАТИ — Российский государственный технологический университет имени К.Э. Циолковского по специальности «научно-технические технологии в РЭА». После окончания университета работал в АО «Атомэнергопроект», с 2008 г. по 2018 г. — в ОКБ ОТ РАН. С 2020 г. работает в ООО «ГНСС плюс», в настоящее время — главный инженер.

Создание единого поля координатно-временной информации на всей площади выполняемых работ — главная задача, которую надо решить для осуществления высокоточного позиционирования.

Традиционно эта задача решается с помощью установки одиночной базовой станции в районе работ или путем подключения к сети постоянно действующих базовых станций в режиме Real Time Kinematic (RTK, «кинематика реального времени») посредством получения дифференциальных поправок с базовой станции.

Однако, установка одиночной базовой станции и оснащение ее необходимым высокоточным ГНСС оборудованием, а также привязка к требуемой системе координат является дорогостоящей процедурой. Проектирование, развертывание, уравнивание и администрирование сетей постоянно действующих базовых станций — еще более затратно.

В то же время, такие отрасли как точное земледелие или воз-

душное сканирование подразумевают работу на больших площадях или на линейных объектах, имеющих многокилометровую протяженность. Установка же базовых станций при выполнении таких видов работ зачастую не оправдана или экономически не выгодна.

Что же делать, если установка базовых станций нецелесообразна, а требования к точности ГНСС определений координат составляют дециметры или первые сантиметры?

В этом случае на помощь приходит сервис дифференциальной коррекции TerraStar, который обеспечивает получение координат высокой точности без использования базовых станций в районе работ в режиме PPP.

PPP — Precise Point Positioning («позиционирование высокой точности») — это метод высокоточного позиционирования с помощью ГНСС, в котором используется получение поправок к эфемеридам орбит и бортовым часам от сетевых источников поправок,

которые генерируются сетью глобальных опорных станций. Как только поправки рассчитаны, они доставляются конечному пользователю через спутник или через Интернет. Это делает PPP идеальным решением для высокоточных приложений в областях, где инфраструктура связи либо ненадежна, либо недоступна.

Метод PPP был разработан в 2005 г. компанией NovAtel и является одним из альтернативных методов корректировки координат в системе WGS-84.

Поскольку решения PPP не зависят от локальной опорной базовой станции или сети, пользователи могут добиться позиционирования на уровне сантиметра в приложениях, где нецелесообразно использовать традиционные методы RTK.

Компания TerraStar\* является пионером и мировым лидером в области коррекционных услуг для точного и надежного позиционирования с использованием спутникового сервиса коррекции.

\* Компания TerraStar принадлежит NovAtel Inc., входящей в состав корпорации HEXAGON.

Структура сервиса коррекции TerraStar состоит из космического и наземного сегментов (рис. 1).

Космический сегмент состоит из шести геостационарных спутников, «размещенных» вблизи экватора таким образом, что в любой точке Земного шара доступно, как минимум, два из них.

Наземная инфраструктура представляет собой глобальную сеть опорных, постоянно действующих базовых станций, расположенных по всему миру. Каждая базовая станция сети оснащена современными мультисистемными и мультичастотными ГНСС-приемниками.

Мозгом сервисов TerraStar является центр управления сетью опорных станций, с круглосуточной и круглогодичной онлайн обработкой данных всех спутниковых группировок и постоянным онлайн обновлением корректирующей информации сервиса.

Глобальная, независимая сеть опорных ГНСС станций непрерывно собирает необработанные («сырые») данные со всех спутников всех спутниковых группировок и предоставляет их центру управления для расчета корректирующей информации.

В результате обработки данных вычисляются точные коор-



**Рис. 1**  
Зона передачи поправок с одного из геостационарных спутников TerraStar (<https://terrastar.net/services/terrastar-coverage-map>)

динаты орбит спутников ГНСС, сдвиг спутниковых часов и другие параметры систем на текущий момент времени, которые могут глобально транслироваться на любой приемник ГНСС.

Полученные поправки передаются через геостационарные спутники TerraStar на пользовательские ГНСС приемники. Точность итогового решения в режиме реального времени составляет от нескольких дециметров до нескольких сантиметров, в зависимости от используемого режима работы.

Таким образом, исключается необходимость в базовой станции (станциях) вблизи района работ.

Для осуществления постоянного контроля качества и обновления корректирующей информации TerraStar использует избыточные данные, полученные от собственной сети референционных ГНСС-станций. Кроме того, TerraStar может использовать данные общедоступных ГНСС сетей.

Высокая скорость коррекции, в большинстве случаев, обеспечивает повторную «PPP» инициализацию менее чем за 60 секунд при кратковременных потерях приема сигналов ГНСС.

На данный момент существует 4 варианта подписки на сервис TerraStar для применения в границах суши и удалении от береговой линии до 10 км. Мож-

**Варианты подписки на сервис TerraStar**

Производительность	TerraStar-X	TerraStar-C PRO	TerraStar-C	TerraStar-L
Точность в плане, см	2 (СКО) 2,5 (95%)	2,5 (СКО) 3 (95%)	4 (СКО) 5 (95%)	40 (СКО) 50 (95%)
Точность по высоте, см	5 (СКО)	5 (СКО)	6,5 (СКО)	60 (СКО)
Точность «от прохода к проходу», см	2 (95%)	2 (95%)	3 (95%)	15 (95%)
Время сходимости решения, мин	<1	<18	30	<5
Поддерживаемые системы ГНСС	GPS/ГЛОНАСС	GPS/ГЛОНАСС/ Galileo/Beidou	GPS/ГЛОНАСС	GPS/ГЛОНАСС
Поддерживаемые платы	OEM7	OEM7	OEM6	OEM7, OEM6
Зона покрытия	Региональная (США)	Глобальная	Глобальная	Глобальная

но выбрать оптимальный вариант в зависимости от решаемых задач, требований к точности и используемого оборудования (см. таблицу).

**TerraStar-L.** Предназначен для широкого применения в приложениях, требующих субметровой или дециметровой точности. TerraStar-L обеспечивает позиционирование с быстрой инициализацией для получения максимального времени безотказной работы, оптимизации затрат и высокой производительности. TerraStar-L — сервис с глобальным покрытием. Доступен для оборудования NovAtel на базе плат 7-ой серии, а также для продукции OEM628, FlexPak6 и SMART6-L.

**TerraStar-C.** Усовершенствованная служба коррекции TerraStar-L, которая предоставляет дополнительную информацию, включая коррекцию тактовой частоты и орбиты с более высокой скоростью. Высокочастотные поправки обеспечивают разрешение неоднозначности фазы несущей, повышая точность и ускоряя восстановление инициализации режима PPP после прерываний сигналов ГНСС. TerraStar-C идеально подходит для высокоточных работ и приложений в режиме

реального времени, требующих субдециметрового уровня точности. TerraStar-C имеет глобальное покрытие и доступен для продукции NovAtel 6-го поколения — OEM628, OEM638, FlexPak6, ProPak6 и SMART6-L.

**TerraStar-C PRO.** Идеально подходит для высокоточных приложений в режиме реального времени, требующих сантиметрового уровня точности без использования базовых станций. TerraStar-C PRO доступен по всему миру и поддерживается всей линейкой продуктов NovAtel 7-го поколения. Инновационные алгоритмы, интегрированные в программное обеспечение оборудования NovAtel 7-й серии, обеспечивают исключительное качество разрешения неоднозначности фазы несущей частоты, повышая точность и ускоряя восстановление инициализации режима работы PPP приемника после прерываний сигналов ГНСС.

**TerraStar-X.** Использует новейшие алгоритмы точного позиционирования (PPP) и крупнейшую в мире сеть локальных опорных станций на территории США для обеспечения сходимости решения с точностью до 2 см менее чем за минуту. Сервис обеспечивает непрерыв-

ную сантиметровую точность для клиентов, работающих по краям его зоны покрытия, бесшовно переходя на корректирующий сервис TerraStar-C PRO. К сожалению, сервис TerraStar-X в настоящее время предоставляется только на территории США.

#### ▼ Результаты тестирования сервиса TerraStar

Для проверки заявленных точностей сервиса TerraStar, а также оценки качества и надежности получаемого решения, инженеры компании «ГНСС плюс» совместно с разработчиками БПЛА в течение 2021 г. провели ряд полевых воздушных и наземных испытаний.

В воздушных испытаниях и тестах использовался экспериментальный беспилотный летательный аппарат, оснащенный ГНСС-платой NovAtel OEM7600 с поддержкой сервиса TerraStar-C PRO.

В наземных испытаниях были задействованы ГНСС-приемники NovAtel PwrPak7-E1 и NovAtel ProPak6 с поддержкой сервисов TerraStar-L и TerraStar-C, соответственно. Эти приемники входили в состав мобильного измерительного комплекса.

Тестирование сервиса TerraStar-C PRO с использованием БПЛА проходило на специализированном полигоне в Ленинградской области.

Непосредственно перед осуществлением полета, на земле, программное обеспечение ГНСС приемника разрешило неоднозначности фазы несущей частоты, и была достигнута среднеквадратическая сходимость ГНСС-решения на уровне 2 см. После этого был произведен запуск БПЛА и осуществлен залет по заранее подготовленному полетному заданию (рис. 2).

По всей траектории полета БПЛА осуществлялась регистрация данных, получаемых в режиме реального времени с помощью сервиса TerraStar-C

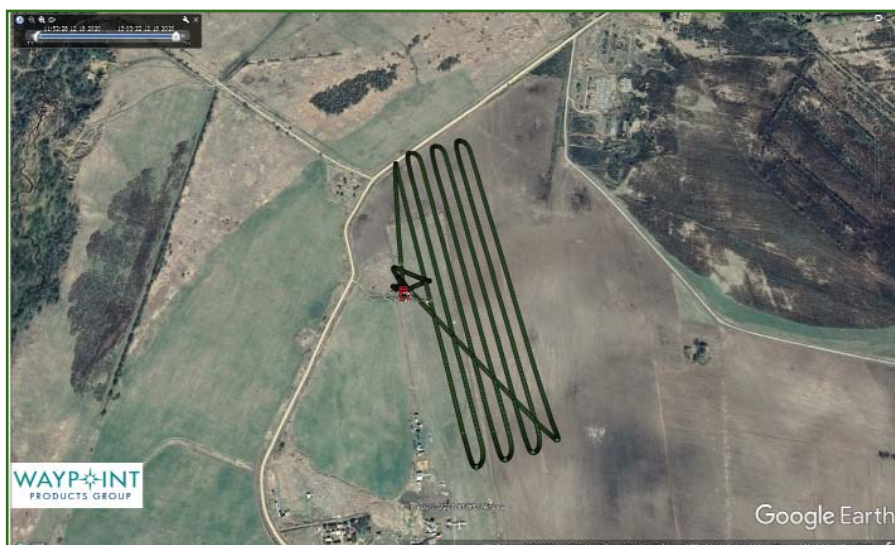


Рис. 2

Траектория полета БПЛА по полетному заданию



PRO. Параллельно с этим записывались «сырые» данные ГНСС измерений без использования корректирующего сервиса. Сбор всех данных осуществлялся ГНСС платой NovAtel OEM7600 с записью их на внешний носитель информации типа Flash-Card. В последующем накопленные данные были экспортированы в программу GrafNav/GrafNet для проведения оценки точности и достоверности полученных результатов.

В качестве проверочного эталона, для сравнительного анализа точностей, получаемых при последующей обработке, использовались данные четырех постоянно действующих базовых станций, находящихся в непосредственной близости от полигона испытаний. На рис. 3 приведено расположение базовых станций (треугольники зеленого цвета) относительно полигона (красная точка красного цвета).

Тестирование сервисов TerraStar-C и TerraStar-L проводилось на территории города Москвы, в районе международного выставочного центра «КРОКУС ЭКСПО», с использованием мобильного измерительного комплекса в условиях, максимально приближенных к возможным способам применения пользователем данных сервисов. На рис. 4 показана траектория движения мобильного измерительного комплекса по заданному маршруту.

По всей траектории движения приемники NovAtel PwrPak7-E1 и NovAtel ProPak6, входящие в мобильный комплекс, осуществляли регистрацию данных, получаемых в режиме реального времени от сервисов коррекции, а также регистрировали «сырые» данные ГНСС.

До начала движения по траектории приемниками были разрешены неоднозначности несущей фазы сигналов ГНСС.

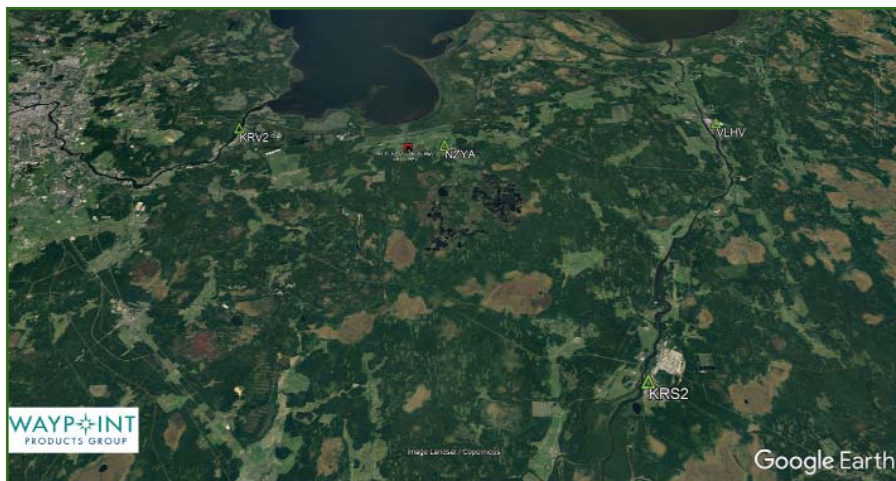


Рис. 3

Расположение базовых станций в районе специализированного полигона

Для этого мобильный комплекс около 30 минут находился в неподвижном состоянии.

В качестве базовой станции использовалась постоянно действующая станция, установленная в офисе компании «ГНСС плюс» и выполненная на платформе платы NovAtel OEM7700.

Полученные «полевые» данные и данные базовой станции обрабатывались при помощи программного комплекса NovAtel GrafNav/GrafNet. После проведения тщательного анализа полученных данных и их

постобработки в программном комплексе были получены следующие результаты.

На рис. 5 представлено сравнение координат, полученных ГНСС-платой NovAtel OEM7600, установленной на БПЛА, при помощи сервиса коррекции TerraStar-C PRO, и обработанной траектории в программном комплексе с использованием мультибазовой коррекции.

Как видно из данных, представленных на рис. 5, среднеквадратические отклонения по каждой из координатных осей

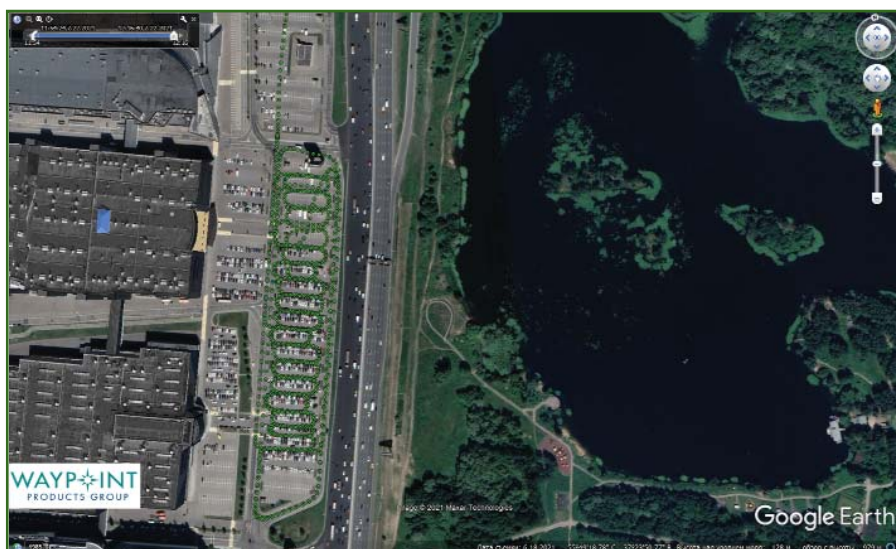


Рис. 4

Траектория движения мобильного измерительного комплекса при наземных испытаниях

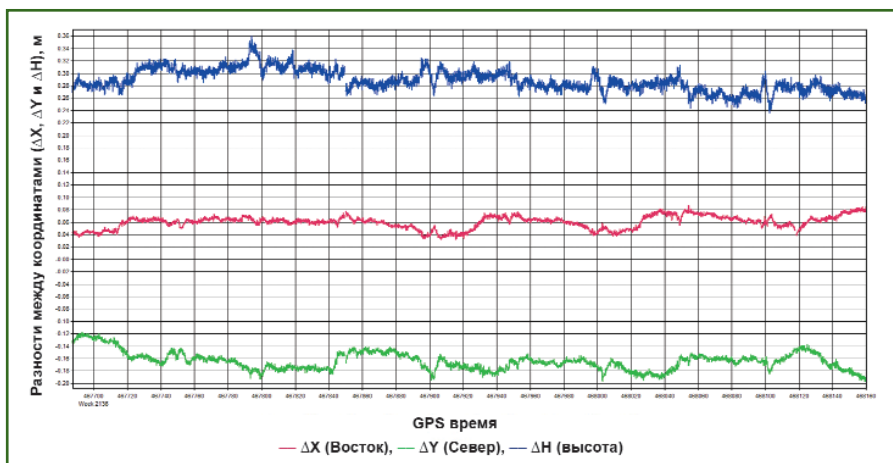


Рис. 5

Разности между координатами ( $X$ ,  $Y$  и  $H$ ) точек траектории БПЛА, полученной ГНСС-платой NovAtel OEM7600 с сервисом TerraStar-C PRO, и эталонной

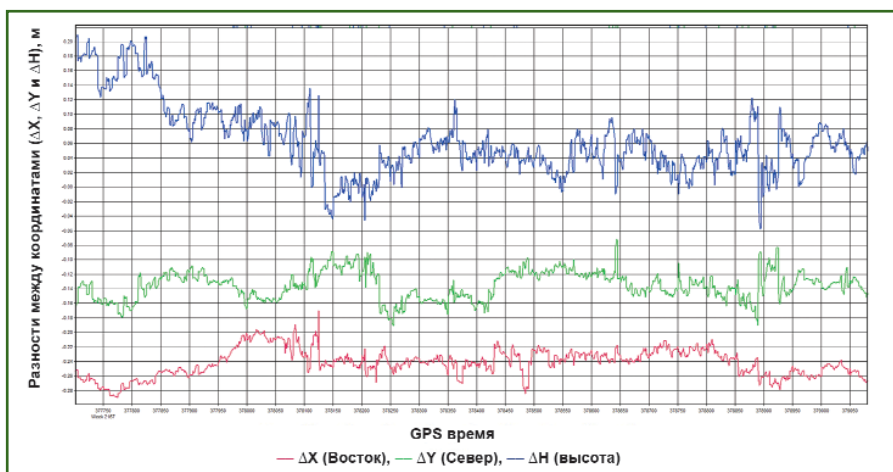


Рис. 6

Разности между координатами ( $X$ ,  $Y$  и  $H$ ) точек траектории наземного мобильного комплекса, полученной ГНСС-приемником NovAtel ProPak6 с активированным доступом к сервису TerraStar-C, и эталонной

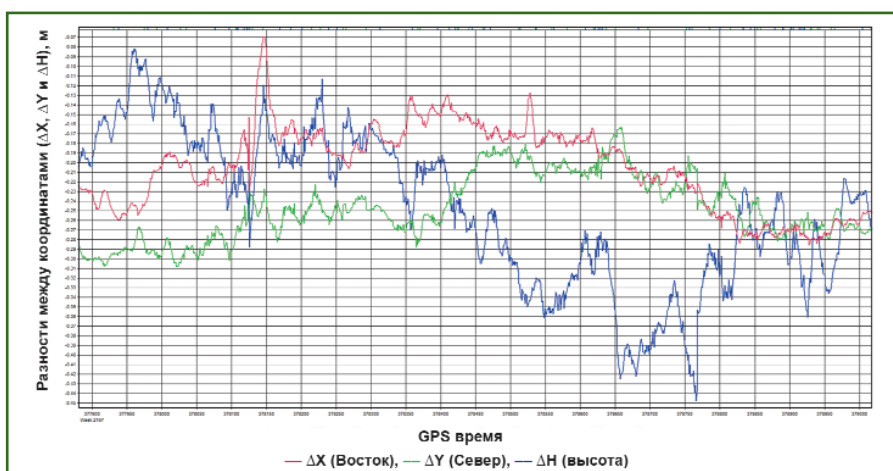


Рис. 7

Разности между координатами ( $X$ ,  $Y$  и  $H$ ) точек траектории наземного мобильного комплекса, полученной ГНСС-приемником NovAtel PwrPak7-E1 с активированным доступом к сервису TerraStar-L, и эталонной

не превышают 2–2,5 см в плане и 3 см по высоте, что полностью соответствует заявленным точностям.

Постоянное смещение по каждой из координатных осей связано с относительностью привязки координат базовых станций к международной геодезической системе координат WGS-84, которая используется в корректирующих сервисах TerraStar.

На рис. 6 представлено аналогичное сравнение координат, полученных ГНСС-приемником NovAtel ProPak6 с активированным сервисом TerraStar-C и эталонной траекторией, полученной при постобработке с использованием данных базовой станции.

Для тестирования возможностей сервиса TerraStar-L был использован ГНСС-приемник NovAtel PwrPak7-E1. На рис. 7 представлены результаты сравнительного тестирования сервиса коррекции TerraStar-L с постобработкой траектории в программном комплексе NovAtel GrafNav/GrafNet от базовой станции.

По результатам испытаний режимов работы корректирующих сервисов можно с уверенностью сказать, что точность определения ГНСС координат, полученных с помощью сервисов TerraStar от компании NovAtel, полностью соответствует заявленным точностям. Их можно рекомендовать для высокоточных приложений на объектах, где установка собственной базовой станции или доступ к сетям базовых станций ненадежен, либо недоступен, а также отсутствует инфраструктура связи для передачи поправок.

Официальным дилером NovAtel на территории России является компания «ГНСС плюс». Узнать больше о сервисе TerraStar можно, обратившись к специалистам компании.