

Анализ применения дифференциальных методов ГНСС при строительстве автомобильных дорог

Н. В. Юдина¹, Е. Г. Гиенко^{1}*

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

*e-mail:elenagienko@yandex.ru

Аннотация. В статье сделан анализ применения дифференциальных методов ГНСС при геодезическом обеспечении строительства автомобильных дорог, а также при управлении строительной техникой (в системах 3D-нивелирования). Выполнено сравнение двух дифференциальных методов – кинематики в реальном времени (RTK) и точного точечного позиционирования (PPP) и определены возможности их использования в геодезическом сопровождении строительства автомобильных дорог. Кратко рассмотрены сервисы дифференциальной коррекции, основанные на методе PPP. Одно из достоинств этого метода – отсутствие необходимости организации базовой станции для формирования и передачи дифференциальных поправок. Целью исследования является выяснение, удовлетворяет ли метод PPP требованиям точности и оперативности выполнения геодезических работ для дорожного строительства, и, следовательно, можно ли обойтись без базовых станций. В результате установлено, что метод PPP (вариант PPP-RTK и, в перспективе, Integer PPP), обеспечивает высокую точность измерений в реальном времени и в дальнейшем, с использованием сервисов дифференциальной коррекции, может рассматриваться как замена методу RTK для большинства видов геодезических работ в сфере строительства автомобильных дорог.

Ключевые слова: дифференциальные методы ГНСС, PPP, RTK, строительство автомобильных дорог, сервисы дифференциальной коррекции, системы 3D-нивелирования

Analysis of Differential Tests of GNSS Methods in Road Construction

N. V. Yudina¹, E. G. Gienko¹

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

*e-mail:elenagienko@yandex.ru

Abstract. The article analyzes the use of differential GNSS methods in geodetic support for the construction of roads, as well as in the management of construction equipment (in 3D leveling systems). The comparison of two differential methods - real-time kinematics (RTK) and precise point positioning (PPP) is carried out, and the possibilities of their use in geodetic support of road construction are determined. Method-based differential correction services (PPP) are briefly considered. One of the advantages of the PPP method is the absence of the need to organize a base station for transmitting differential corrections. The aim of the study is to find out whether the PPP method satisfies the requirements for the accuracy and efficiency of performing geodetic works for road construction, and, therefore, whether base stations can be dispensed with. As a result, it was found that the PPP method (a variant of PPP-RTK and, in the future, Integer PPP) provides high measurement accuracy in real time and, in the future, using differential correction services, can be considered as a replacement for the RTK method for most types of geodetic work in the field of road construction.

Keywords: GNSS differential methods, PPP, RTK, road construction, differential correction services, 3D leveling systems

Введение

В последние годы в изысканиях и строительстве автомобильных дорог произошел переход на повсеместное пользование технологий и методов, основанных на применении глобальных навигационных спутниковых систем ГНСС. Применение ГНСС-технологий имеет ряд преимуществ: оперативность, высокая точность и эффективность.

В требованиях к проведению топографо-геодезических изысканий автомобильных дорог общего пользования [1] приведены основные характеристики точности угловых, линейных и высотных измерений в опорных геодезических сетях, реализуемых наземными средствами (с помощью тахеометров и нивелиров), а также допустимые средние квадратические погрешности измерений по видам работ при строительстве дорог (таблица 1)

Таблица 1

Среднеквадратическая погрешность измерений [1]

Вид работ	Значение СКП при измерениях
Определение взаимного положения смежных осей	2 мм
Точность определения положения оси дороги в плане от проектного значения	20 мм
Точность определения поперечных и продольных уклонов дороги от проектного значения,	5 мм (10%)
Точность выноса в натуру знаков при разработке земляных выемок, вертикальной планировке, траншей, насыпей отклонения от проекта	В плане 50 мм По высоте 20 мм

Значения, указанные в [1] необходимо учитывать при выборе средств измерений. В настоящее время линейно-угловые измерения для видов работ, перечисленных в [1], заменяются оперативными и точными ГНСС-измерениями в режиме RTK (Real Time Kinematic – кинематика в реальном времени). ГНСС-измерения могут обеспечить требуемую точность практически для всех видов перечисленных работ, за исключением определения взаимного положения смежных осей – 2 мм. Здесь необходимо использовать тахеометр или теодолит.

При строительстве автомобильных дорог широко используются дифференциальные методы ГНСС, основанные на формировании и передаче приемнику по различным линиям связи дифференциальных поправок, формируемых на опорных пунктах (базовых станциях). По виду поправок, по реализации и по другим признакам у дифференциальных методов много вариантов, наиболее известные из них – метод RTK и точного точечного позиционирования (Precise Point Positioning, PPP).

В настоящее время повсеместно применяется дифференциальный метод RTK, основанный на приеме дифференциальных поправок от одиночной базовой станции или от сети базовых станций. Базовая станция может быть временная, организованная на территории строительной площадки, или постоянно действующая, относящаяся к сети дифференциальных геодезических станций. К недостаткам временной базовой станции можно отнести несоответствие требованиям к ее установке, недолговечность, ошибки определения исходных координат и высот, возможные ошибки при повторных измерениях (например, через год). Постоянно действующие базовые станции, в свою очередь, требуют затрат на их размещение, охрану и эксплуатацию, оплату трафика используемой информации, если они не принадлежат строительной компании. Кроме того, в малообжитых районах расстояние до таких станций может превышать допустимое значение. Несмотря на указанные недостатки, в режиме RTK в настоящее время выполняются многие операции, связанные со строительством автомобильных дорог.

ГНСС-измерения в режиме RTK также используются в автоматизированных системах управления дорожно-строительной техникой.

3D системы нивелирования при строительстве автодорог. Базовая станция, передающая RTK поправки, устанавливается на пункте с известными координатами на строительной площадке или недалеко от неё. Одна базовая станция может обеспечивать работу нескольких машин.

Основа 3D системы нивелирования состоит в использовании цифровой модели проектной поверхности, загруженной в бортовой компьютер. Система, отслеживающая направление движения строительной машины и ее местоположение, контролирует положение и смещение рабочего органа строительной машины относительно загруженной модели.

Точность определения координат 3D систем нивелирования – на уровне первых сантиметров, что ниже точности роботизированных электронных тахеометров, но достаточно для выполнения большинства землеройных работ.

На рисунке 1 приведена схема работы 3D системы нивелирования на автогрейдере (как пример, системы Topcon mmGPS). Здесь показаны основные элементы, относящиеся к использованию ГНСС при работе автогрейдера: антенна ГНСС и mmGPS приемник, ГНСС-приемник, радиоантенна для приема дифференциальных поправок от базовой станции.

Метод точного точечного позиционирования. Одной из задач исследования являлось рассмотрение возможности применения в дорожном строительстве технологий, основанных на методе PPP, не требующем использования базовых станций. Для этого надо выяснить, удовлетворяет ли метод PPP требованиям точности и оперативности выполнения перечисленных выше работ.

PPP (Precise Point Positioning) – метод определения местоположения, основанный на применении спутниковой корректирующей информации, содержащей поправки к эфемеридам и времени бортовых часов навигационных спутников и атмосферных поправок в пределах локальной области, позволяющий определять пространственные координаты объектов с точностью от нескольких дециметров

до нескольких сантиметров на эпоху выполнения измерений. Для получения решения необходимо время от 10 до нескольких десятков минут, обусловленное приемом и обработкой поступающей эфемеридно-временной информации.

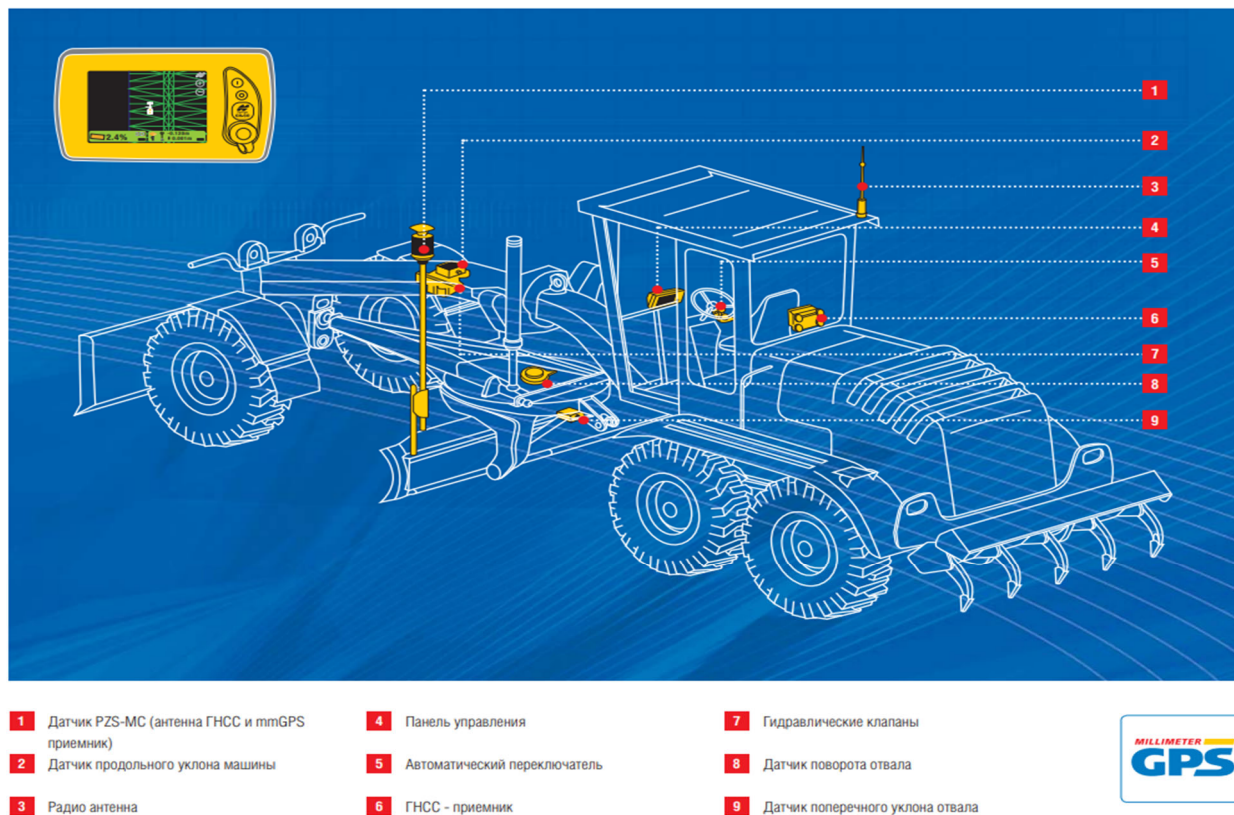


Рис. 1. Система Torson на mmGPS автогрейдере, [2]

Классификация PPP методов [3]:

- PPP (Float PPP) – реализация метода без разрешения целочисленной неоднозначности фазовых измерений, точность определения координат 0,10-0,20 м;
- PPP-AR (Integer PPP) – с разрешением целочисленной неоднозначности фазовых измерений, точность определения координат 0,04-0,10 м;
- PPP-RTK – с разрешением целочисленной неоднозначности фазовых измерений и использованием атмосферных поправок в пределах локальной области, точность определения координат 0,02-0,04 м;

Метод Float PPP основан на использовании эфемеридно-временной информации (ЭВИ) о спутниках ГНСС, передаваемой службами поддержки ГНСС. Решение этим методом требует времени и, что важно, может иметь систематическую ошибку до нескольких дециметров при высокой (миллиметровой) точности по внутренней сходимости.

Для реализации метода Integer PPP к вышеуказанным поправкам необходимо добавить поправки, устраняющие нецелочисленные смещения. Эти поправки формируются сервисами высокоточных спутниковых определений (сервисами дифференциальной коррекции) [4].

Метод PPP-RTK – наиболее перспективный метод, позволяющий получать высокоточные координаты практически в реальном времени, но требующий наличия базовых станций для получения атмосферных поправок на локальной области в момент инициализации.

За последние два десятилетия высокоточное позиционирование на основе двухчастотного метода PPP интенсивно изучалось. В статье [5] отмечена высокая точность метода при наличии доступа к высокоточной ЭВИ.

PPP имеет перспективы широкого практического использования на территории РФ и является в ряде случаев альтернативой и дополнением к дифференциальному методу точного позиционирования, особенно с точки зрения его применения в малоизученных и в районах со слаборазвитой инфраструктурой, где использование базовых станций малоцелесообразно ввиду невозможности их эффективного размещения, либо отсутствия возможности их размещения [6].

Как показано в статье [6], результаты применения технологии PPP сравнимы с результатами, полученными для дифференциального режима RTK. Значения, имеющие существенные отклонения, обусловлены недостаточным количеством видимых спутников из-за наличия естественных преград вдоль трасс общего пользования, например, лесных массивов.

Таким образом, можно выделить следующие достоинства метода PPP: отсутствие базовой станции исключает затраты на её размещение и обслуживание; точность решений на уровне нескольких дециметров в плане в системе ITRF2020.

Недостатками метода являются: необходимость доступа в Интернет для получения необходимых файлов (что зачастую в полевых условиях проблематично); задержка в получении информации; возможные проблемы перехода от СК ITRF2020, в которой поставляются файлы орбит, к требуемой системе координат и времени.

Сервисы дифференциальной коррекции. Многие современные фирмы-производители спутниковой аппаратуры предлагают использование собственных сервисов дифференциальной коррекции, основанных на методе PPP, например, Trimble RTX, Atlas GNSS, TerraStar. Характеристики сервисов дифференциальной коррекции приведены в таблице 2.

Таблица 2

Характеристики сервисов дифференциальной коррекции

	Время инициализации, мин	Точность в плане (СКО), см	Точность по высоте (СКО), см	Веб-сайт сервиса
Trimble RTX	<1 – <20	2	5	https://trimblertx.com/
Atlas GNSS	<1	2	5	https://www.atlasgnss.com/
TerraStar	<1	2,5	5	https://terrestar.net/

В статьях [7] и [8] описаны результаты измерений сервисом Trimble RTX в реальном времени и с постобработкой. Полученная точность не превышает 2 см, что доказывает возможность применения сервисов дифференциальной коррекции для строительства автомобильных дорог.

Сервисы дифференциальной коррекции могут быть использованы для следующих работ:

- определения положения оси дороги в плане от проектного значения;
- определения уклонов дороги (продольных и поперечных) от проектного значения;
- выноса в натуру знаков при разработке земляных выемок, вертикальной планировке траншей, насыпей.

Рассмотренные выше дифференциальные методы, применяемые при строительстве дорог, можно представить в виде схемы, показанной на рисунке 2.

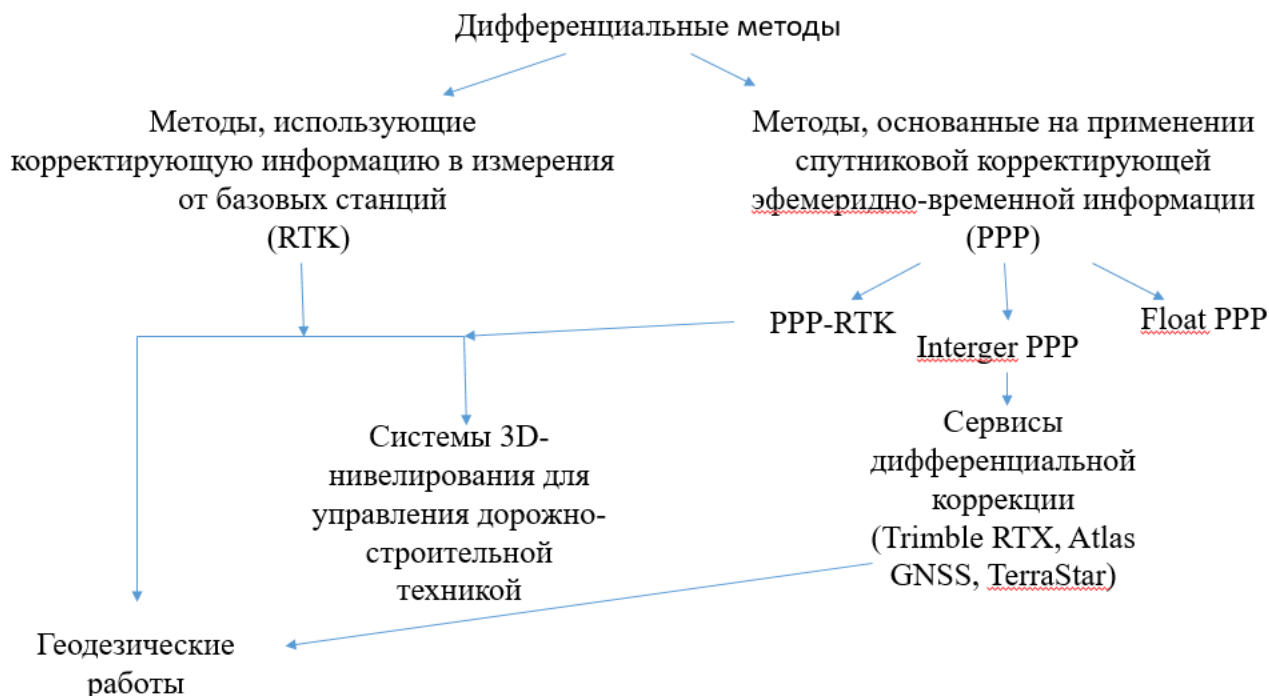


Рис. 2. Дифференциальные методы, применяемые в строительстве автомобильных дорог

Заключение

Таким образом, на основании выполненного анализа, можно сделать следующие выводы:

– режим RTK применяется для геодезического сопровождения строительства автомобильных дорог и в системах автоматизированного управления дорожно-строительной техникой, требует наличия базовых станций. Предоставляет высокоточное решение в реальном времени;

– метод PPP в чистом виде не требует наличия базовых станций, но имеет ограничения по времени инициализации – от 10 до нескольких десятков минут;

– сервисы дифференциальной коррекции обеспечивают время инициализации от 1 до 20 минут и точность 2 см в плане и 5 см по высоте, могут применяться для некоторых работ в процессе дорожного строительства;

– для получения поправок от сервисов дифференциальной коррекции необходим надежный доступ в Интернет или нахождение в зоне покрытия геостационарными спутниками, передающими корректирующую информацию;

– при обработке и получении результатов необходимо помнить, что метод PPP обеспечивает координаты точек на средний момент наблюдения и в геоцентрической системе отсчета (как правило, ITRF), и нужен перерасчет или специальные настройки аппаратуры, чтобы на выходе координаты получались в системе координат проекта автомобильной дороги и на необходимый момент времени.

С учетом сделанных выше замечаний, метод PPP и основанные на нем сервисы дифференциальной коррекции могут стать перспективной заменой методу RTK при строительстве дорог.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 32869-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Требования к проведению топографо-геодезических изысканий. // Межгосударственный стандарт. –М.: Стандартинформ, 2016. – 40 с.

2. Система 3D mmGPS для грейдера [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://topcon.pro/stroitelstvo/Systema_3dmmgps_grader/

3. Метод PPP (Precise Point Positioning) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://gnss-expert.ru/?page_id=268

4. Бетанов В. В., Вовасов В. Е., Воропаева А. В. Метод высокоточного позиционирования потребителей информации спутниковых систем // Правовая информатика. 2020. №3. – С. 53-64. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-vysokotochnogo-pozitsionirovaniya-potrebiteley-informatsii-sputnikovyyh-sistem> здесь

5. Будников, П. А. Обзор современного состояния методов высокоточной навигации по ГНСС и их перспективы развития на территории РФ / П. А. Будников, В. В. Алпатов, А. Е. Васильев // Гелиогеофизические исследования. – 2019. – № 23. – С. 16-22.

6. Изучение навигационных возможностей технологии precise point position (PPP) с использованием мобильной лаборатории на базе автомобиля / В. В. Погорелов, А. А. Спесивцев, П. С. Михайлов [и др.] // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей : Материалы 47-й сессии Международного научного семинара Д. Г. Успенского - В. Н. Страхова, Воронеж, 27–30 января 2020 года. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр "Научная книга", 2020. – С. 229-235.

7. Володяев Г. В. Тестовые испытания технологии Trimble RTX на территории РФ / Г. В. Володяев // Геопрофи. – 2019. – № 5. – С. 42–45.

8. Косарев, Н. С. Исследование сервиса Trimble centerpoint RTX на пунктах полигона геодезического эталонного СГУГиТ / Н. С. Косарев // Современные проблемы и перспективы развития земельно-имущественных отношений : Сборник статей по материалам II Всероссийской научно-практической конференции, Краснодар, 24 апреля 2020 года / Отв. за выпуск Е.В. Яроцкая. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2020. – С. 603-610.

© Н. В. Юдина, Е. Г. Гиенко, 2023