

УДК 528.01/.06

**Е.С. Богданец, В.А. Чистогова**

**E.S. Bogdanets, V.A. Chistogova**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Perm National Research Polytechnic University

**АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ  
БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ В ЗАВИСИМОСТИ  
ОТ ПЛОТНОСТИ ИХ РАСПОЛОЖЕНИЯ**

**ANALYSIS OF THE ACCURACY OF POSITIONING  
BASIC STATIONS DEPENDING ON THE DENSITY  
OF THEIR LOCATION**

Рассмотрена зависимость точности позиционирования базовых станций от их плотности. Проведено сравнение средней квадратической погрешности позиционирования как в пределах одной страны, так и в разных странах.

**Ключевые слова:** ГНСС, базовая станция, SOPAC, GPS, ГЛОНАСС, позиционирование высокой точности.

The article describes the dependence of the accuracy of the positioning of base stations on their density. Comparison of the mean square positioning error was carried out both within the same country and in different countries.

**Keywords:** GNSS, SOPAC, GPS, Precise Point Positioning, PPP.

В настоящее время появляется множество различных способов для повышения точности навигации. Для улучшения точности определения координат были созданы сети базовых станций. Базовые станции позволяют решать очень широкий спектр задач, возникающих в геодезии. В частности, они предназначены для корректирования погрешностей, выдаваемых GPS-спутниками, и позволяют передавать данные всем заинтересованным пользователям.

В общем случае базовая станция состоит:

- из ГНСС-приемника;
- средства связи, источники бесперебойного питания;
- спутниковой антенны;
- молниеотводов и специальных систем защиты от грома.

Все элементы базовой станции должны быть установлены стационарно на специально подготовленное место. Спутниковая антенна должна быть прочно закреплена на верхней части специального пилона, который предварительно устанавливается на неподвижном и надежном основании [1].

При расчетах координат как базовых станций, так и GNSS-приемников для внесения поправок используется технология PPP (Precise Point Positioning). Precise Point Positioning – это метод получения высокоточных координат в плане и по высоте местности сантиметровой точности с помощью глобальных навигационных систем. Метод PPP часто путают с методом абсолютной космической геодезии, из-за того, что исходные данные, а именно эфемерид и бортовая шкала времени, точно такие же, как в абсолютном методе. Точность метода достигает десятков миллиметров при использовании двухчастотного приемника в статическом режиме. Источником для поправок является глобальный сетевой сервис, теоретически источником может служить другой опорный двухчастотный приемник. Дальность применения поправок теоретически не ограничена. Устранение тропосферных погрешностей (чаще ионосферных) осуществляется за счет двухчастотного приема. PPP отличается от метода кинематики реального времени тем, что не требует доступа к данным наблюдений близко размещаемых базовых станций, а также тем, что в PPP реализуется абсолютное позиционирование вместо относительного определения, как в опорной станции в RTK (Real Time Kinematic). Данные поправок для метода PPP реализуются службой точного позиционирования, так как он требует знания точных поправок спутниковых орбит и бортовых часов в режиме реального времени. Их можно получить с помощью сети базовых станций GNSS, расположенных по всему миру [2].

На расчет координат влияют различные коэффициенты и параметры, которые определяются сетью базовых станций, установленных на поверхности Земли. Технология PPP учитывает атмосферные поправки, которые определяются базовыми станциями. Чем больше базовых станций участвуют в процессе учета поправок, тем точнее высчитывается модель.

Можно предположить, что если базовых станций будет мало, то поправки будут высчитываться грубее, ошибок будет больше, и наоборот, если базовых станций много, то модель поправок будет более точная.

Для проверки влияния плотности расположения базовых станций на точность определения координат было выбрано три региона США (рис. 1) с различной плотностью базовых станций:

- Калифорния (20–30 станций на 20×20 км);
- Техас (от 5 до 10 станций на 100×100 км);
- Вайоминг + Южная Дакота (3–5 станций на 200×200 км).

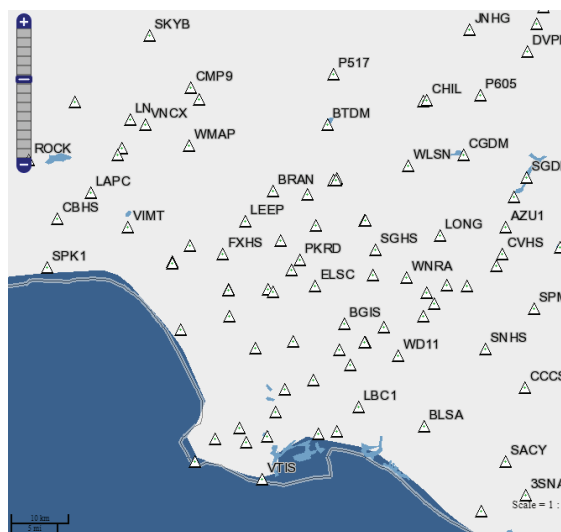


Рис. 1. Карта расположения базовых станций в Калифорнии

Плотность варьировалась от низкой к высокой. В каждой выделенной группе было выбрано по три базовых станции. После чего с сервиса SOPAC (Scripps Orbit and Permanent Array Centre – крупнейший международный центр сбора и обработки данных по глобальным навигационным спутниковым системам) были получены данные об этих базовых станциях. Затем полученные данные обрабатывались с помощью онлайн-сервиса CSRS-PPP (рис. 2).

Геодзический отдел исследований природных ресурсов Канады предоставляет Канадскую пространственную справочную систему высокоточного позиционирования (CSRS-PPP) с ноября 2003 г. Результаты CSRS-PPP приходят в электронном письме, отправленном пользователю после завершения обработки. Они включают в себя подробные графические и текстовые результаты.

Поскольку строгой зависимости точности определения координат от количества станций на материале США не было найдено, нами было принято решение проверить наше предположение, беря в расчет разные страны с большей разницей плотности расположения базовых станций.

Были выбраны три региона различных стран. Плотность расположения базовых станций так же, как и в случае с США, варьировалась в довольно широких пределах:

- Новая Зеландия – примерно 60 станций на 200×200 км;
- Польша – 14 станций на всю страну;
- Канада – 6 станций на 2000×2000 км (рис. 3, 4).

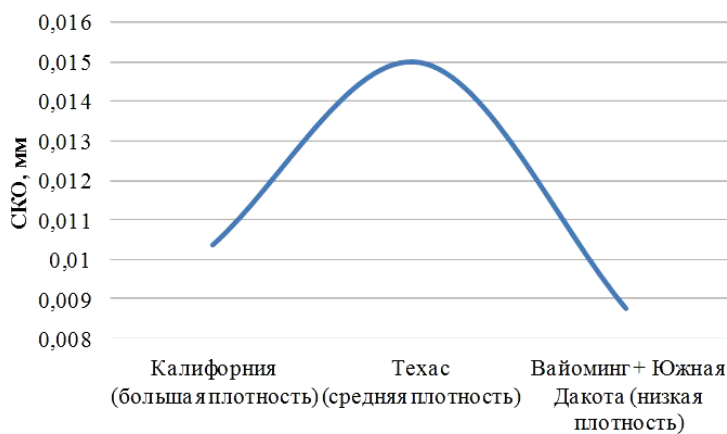


Рис. 2. График среднего квадратического отклонения (СКО) местоположения базовой станции в зависимости от плотности базовых станций в США

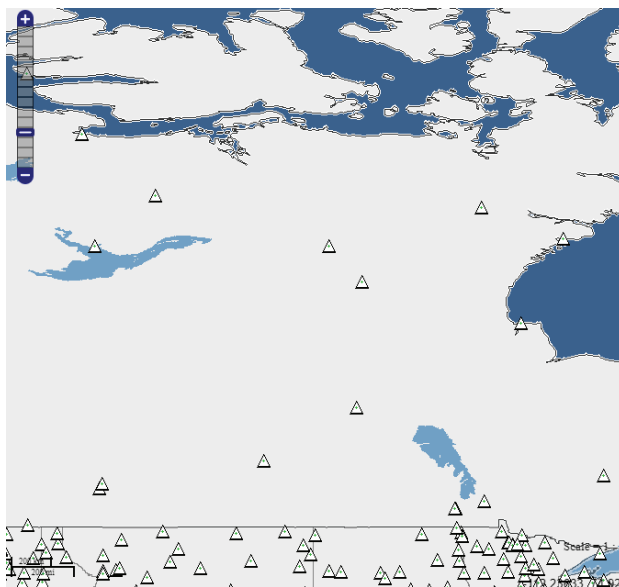


Рис. 3. Карта расположения базовых станций в Канаде

Из данного графика видно, что есть легкий тренд в сторону увеличения погрешности определения координат базовой станции при уменьшении плотности расположения базовых станций.

Расчет СКО производился на основании суточных измерений с базовых станций (рис. 5).

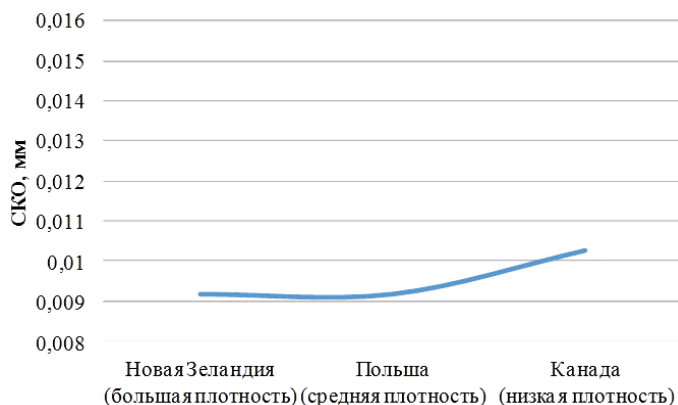


Рис. 4. График СКО местоположения базовой станции в зависимости от плотности базовых станций в различных странах мира

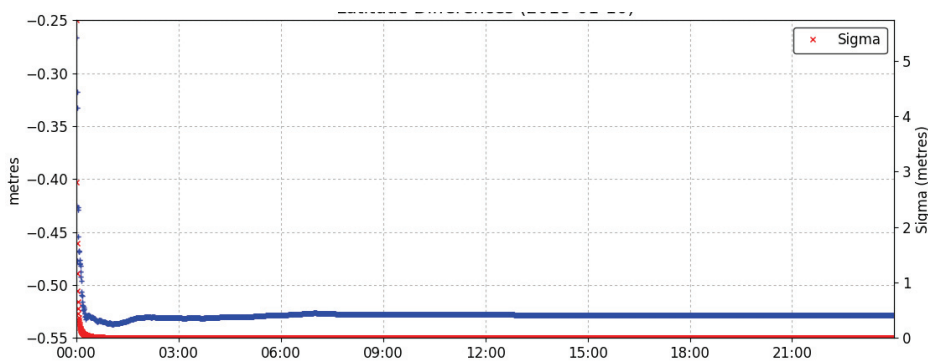


Рис. 5. График СКО из отчета CSRS-PPP

Из рис. 5 видно, что существенное уменьшение СКО идет в течение первых 3 ч наблюдений с базовой станции. Можно сделать предположение, что мы не видим существенной зависимости точности позиционирования от плотности базовых станций из-за того, что обрабатываем избыточное количество данных, в которых любые погрешности благодаря избыточному количеству измерений сводятся к минимуму.

Суточные данные наблюдений с базовых станций, которые мы использовали до этого, были сокращены с 24 до 3 ч. После чего были получены следующие результаты (рис. 6, 7).

Из рис. 6, 7 видно, что с увеличением плотности базовых станций средняя квадратическая погрешность (СКП) их положения уменьшается.

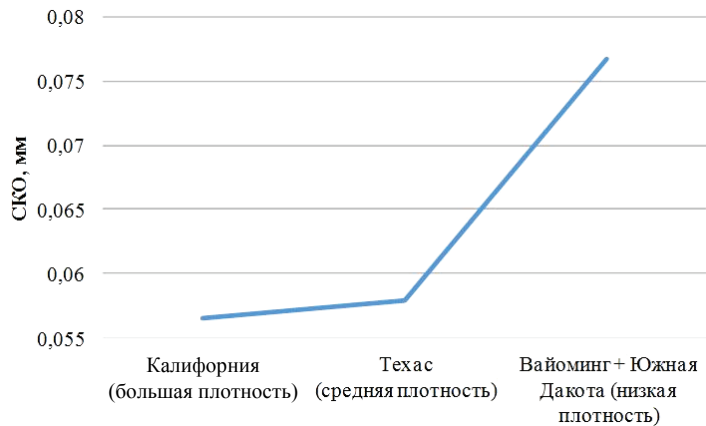


Рис. 6. График СКО местоположения базовой станции в зависимости от плотности базовых станций в США в период от 0 до 3 ч

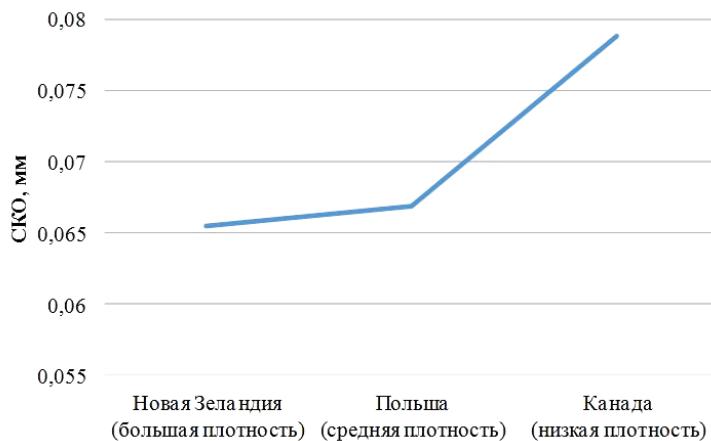


Рис. 7. График СКО местоположения базовой станции в зависимости от плотности базовых станций в различных странах мира в период от 0 до 3 ч

При уменьшении времени наблюдений точность позиционирования уменьшается, и плотность базовых станций имеет прямую зависимость с СКП. Но при увеличении времени наблюдений СКП изменяется в незначительных пределах, что не оказывает существенного влияния на точность. Следовательно, можно сделать вывод, что при низкой плотности базовых станций следует увеличить время наблюдения, чтобы повысить точность позиционирования.

### Список литературы

1. Базовая станция [Электронный ресурс]. – URL: <https://poznayka.org/s72302t1.html> (дата обращения: 15.10.2018).
2. Режим PPP в спутниковых технологиях [Электронный ресурс]. – URL: [http://4du.ru/statiavtora/sputnikovye\\_sistemy\\_i\\_tehnologii\\_pozicionirovaniya/rezhim\\_ppp\\_v\\_sputnikovyh\\_tehnologiyah.html](http://4du.ru/statiavtora/sputnikovye_sistemy_i_tehnologii_pozicionirovaniya/rezhim_ppp_v_sputnikovyh_tehnologiyah.html) (дата обращения: 15.10.2018).

Получено 15.10.2018

**Богданец Евгений Сергеевич** – старший преподаватель, горно-нефтяной факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: [59ru@inbox.ru](mailto:59ru@inbox.ru).

**Чистогова Виктория Александровна** – студентка, гр. МД-14-1с, горно-нефтяной факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: [chistogova.viktoria@yandex.ru](mailto:chistogova.viktoria@yandex.ru).