

*Е. Г. Гиенко<sup>1✉</sup>, П. А. Гибадуллин<sup>1</sup>*

## **К вопросу согласованности координатных определений геодезических пунктов относительно различных сетей дифференциальных геодезических станций**

<sup>1</sup>Сибирский государственный университет геосистем и технологий,  
г. Новосибирск, Российская Федерация  
e-mail: elenagienko@yandex.ru

**Аннотация.** Представлено сравнение координат точек, определенных в режиме РТК от разных дифференциальных геодезических станций (ДГС). Продемонстрировано хорошее согласие плановых координат в WGS-84 и в местной системе МСК-54, что является результатом включения ДГС в Федеральную сеть геодезических станций, где производится периодическое определение координат станций и контроль стабильности их рабочих центров. При этом обнаружены систематические смещения как геодезических, так и нормальных высот. Основными причинами таких смещений являются ошибки высоты антенны и применяемой локальной модели квазигеоида. Приведены рекомендации по поиску систематических ошибок в измерениях и оптимальному выбору ДГС для выполнения работ. Дальнейшее развитие координатного обеспечения с использованием дифференциальных геодезических станций связано с предоставлением пользователям в реальном времени нормальных высот в БСВ-77, а именно, построение высокоточных моделей квазигеоида для спутникового нивелирования.

**Ключевые слова:** дифференциальная геодезическая станция, федеральная сеть геодезических станций, РТК, местные системы координат, нормальные высоты, модель квазигеоида

*E. G. Gienko<sup>1✉</sup>, P. A. Gibadullin<sup>1</sup>*

## **On the issue of consistency of geodetic points coordinate definitions relative to various networks of continuously operated reference stations**

<sup>1</sup>Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation  
e-mail: elenagienko@yandex.ru

**Abstract.** A comparison of coordinates of points determined in RTK mode from continuously operated reference stations (CORS) is presented. A good agreement of the planned coordinates in WGS-84 and in the local MSK-54 system was demonstrated, which is the result of the inclusion of the CORS in the Federal Network of Geodetic Stations, where the coordinates of stations are periodically determined and the stability of their work centers is monitored. At the same time, systematic displacements of both geodetic and normal heights were found. The main reasons for such shifts are errors in the height of the antenna and the local quasi-geoid model used. Recommendations on the optimal choice of CORS for the work are given. Further development of coordinate support using differential geodetic stations is associated with providing users with real-time normal heights in BSV-77, the construction of high-precision quasi-geoid models for satellite leveling

**Keywords:** continuously operated reference station, Federal Network of Geodetic Stations, RTK, local coordinate system, normal heights, quasi-geoid model

## *Введение*

Дифференциальные геодезические станции ГНСС (ДГС) [1] широко используются для решения различных научных и прикладных задач, обеспечивая режим ГНСС-измерений «Кинематика в реальном времени», RTK (Real Time Kinematic). Производители и дилеры спутниковой аппаратуры предлагают создание «под ключ» постоянно действующих базовых станций или их сетей, а также измерительную информацию от этих станций. К настоящему времени создано более 1000 ДГС, и их количество продолжает увеличиваться. В населенных пунктах может быть несколько ДГС, принадлежащих разным операторам.

В публикации от 2015 г. [2] были представлены основные проблемы, касающиеся развития ДГС в России – их разновременное создание различными государственными и частными организациями без какого-либо нормативно-технического и правового регулирования со стороны государства, определение координат станций разными технологиями, с разной точностью и на разные эпохи, уравнивание результатов измерений в разных системах координат и высот, относительно разных опорных пунктов. Поэтому были не редки случаи, когда при работе в RTK с приемом информации от разных базовых станций координаты одной и той же точки различались на величину, в несколько раз превышающую паспортную точность спутниковой аппаратуры. Возникали споры по результатам землеустроительных работ.

Отмеченные в [2] задачи решались поэтапно на государственном уровне. Так, в 2020 г. вышел Приказ Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии «Об установлении требований к программным и техническим средствам, используемым при создании сетей дифференциальных геодезических станций» [3], регулирующий создание дифференциальных базовых станций. В Центре геодезии, картографии и инфраструктуры пространственных данных при Росреестре (в настоящее время ППК Роскадастр) была организована Федеральная сеть геодезических станций (ФСГС) с аппаратно-программным комплексом (АПК) [4]. В 2023 г. в Федеральный закон «О геодезии...» были внесены поправки (от 04.08.2023), касающиеся ФСГС [5], а в 2024 г. Приказом Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии от 26.04.2024 № П/0123/24 установлены требования к ФСГС, ДГС, а также требования к государственной информационной системе ФСГС [6].

Объединение частных дифференциальных станций в ФСГС с постоянно действующими пунктами ФАГС происходит по добровольному согласию операторов ДГС. С помощью АПК обеспечивается ежесуточное определение координат и мониторинг сетей. Создание и развитие ФСГС обеспечивает владельцам и пользователям ДГС:

- периодическое определение координат станций в ГСК-2011;
- периодический контроль стабильности рабочих центров;
- архивное хранение информации за время нахождения станций в составе ФСГС;

– информирование о соответствии ДГС требованиям нормативных документов.

Поскольку ФСГС образована недавно, актуальной задачей является проверка в полевых условиях согласованности координатных определений в режиме РТК от различных базовых станций, включенных в ФСГС.

В настоящем исследовании выполнены эксперименты по определению координат одних и тех же точек от разных базовых станций, выработаны рекомендации по оптимальному выбору операторов ДГС. Полученные результаты могут быть полезны геодезистам, работающим в РТК, операторам (владельцам) ДГС, а также специалистам службы сопровождения АПК ФСГС.

### ***Постановка и задачи эксперимента***

Экспериментальные исследования заключались в измерении координат точек в режиме РТК от нескольких базовых станций, принадлежащих разным операторам. ГНСС-измерения выполнялись в р.п. Ордынское, от базовых станций ORDN операторов PrinNet [7], Спутниковой сети дифференциальных геодезических станций НСО (ССДС НСО, [8]). В поселке есть еще одна станция ORDN, принадлежащая сети EFT CORS [9].

Следует отметить, что наличие только в одном районном центре трех базовых станций ставит вопрос оптимального выбора для выполнения топографо-геодезических работ. Поэтому дополнительная задача исследования заключалась в определении качества ГНСС-измерений на базовых станциях, а также в сравнении интерфейсов пользователей информации с этих базовых станций.

Измеряемые точки 1-4 расположены на расстоянии примерно 4 км от базовых станций, (рис. 1.).

Координаты точек определялись с помощью ровера Prince I90 (паспортная точность определения координат в режиме РТК в плане 8 мм+1мм/км, по высоте 15мм+1мм/км). Таким образом, расхождение в координатах, полученных от двух станций, расположенных на примерно одинаковом расстоянии (4 км), не должно превышать в плане 17 мм, по высоте 27 мм.

Точки 1-4 располагались в местах с открытым радиогоризонтом, измерения от двух базовых станций выполнялись практически в одно и то же время, наблюдались одни и те же спутники, геометрический фактор был от 1,3 до 1,5.

Координаты определялись в системе WGS-84 (геодезические широта В, долгота L, высота Н), а также в местной системе координат МСК-54 (плоские х, у и нормальные высоты Н<sup>н</sup>).

Разности координат, полученных от двух ДГС, приведены в табл.1.



Рис.1. Расположение измеряемых точек и базовых станций

Таблица 1

Разности координат точек, полученных от двух ДГС

| Точка | МСК-54                |                       |                                 | WGS-84         |                |                       | $(\Delta H - \Delta H^{\square}), \text{ м}$ | $\Delta H, \text{ м}^*$ |
|-------|-----------------------|-----------------------|---------------------------------|----------------|----------------|-----------------------|----------------------------------------------|-------------------------|
|       | $\Delta x, \text{ м}$ | $\Delta y, \text{ м}$ | $\Delta H^{\square}, \text{ м}$ | $\Delta B, ''$ | $\Delta L, ''$ | $\Delta H, \text{ м}$ |                                              |                         |
| 1     | -0,009                | 0,007                 | -0,254                          | 0,00056        | 0,00766        | 0,107                 | 0,361                                        | -0,007                  |
| 2     | -0,010                | -0,017                | -0,264                          | 0,00055        | 0,00638        | 0,097                 | 0,361                                        | -0,017                  |
| 3     | 0,008                 | -0,023                | -0,275                          | 0,00004        | 0,00604        | 0,086                 | 0,361                                        | -0,028                  |
| 4     | -0,004                | -0,014                | -0,254                          | 0,00036        | 0,00653        | 0,106                 | 0,360                                        | -0,008                  |

\*) Разница геодезических высот после внесения поправки за высоту антенны ДГС ССДС НСО

Из таблицы видно, что плановые координаты, определенные в режиме RTK от двух ДГС, согласованы между собой в пределах аппаратной точности ГНСС-измерений.

В разностях высот, как геодезических, так и нормальных, присутствуют систематические ошибки, в несколько раз превышающие допустимую ошибку.

### ***Причины систематического смещения по высоте определяемых точек***

Определим причины систематического смещения по высоте в измеряемых точках. Связь между нормальными и геодезическими высотами выражается формулой

$$H' = H - \zeta, \quad (1)$$

где  $\zeta$  – высота квазигеоида, при спутниковом нивелировании определяется по модели квазигеоида (геоида).

В формуле (1) все компоненты содержат систематические ошибки, вызванные разными причинами, поэтому формулу спутникового нивелирования можно представить в виде [10]

$$(H' + dH') = (H + dH) - (\zeta + d\zeta), \quad (2)$$

где  $d\zeta$ ,  $dH$ ,  $dH'$  – систематические ошибки по каждой компоненте.

Систематическая ошибка в геодезической высоте  $dH$ , как правило, вызывается ошибками в высоте антенны базовой станции и ровера, а также ошибками в геодезических высотах базовых станций, принадлежащих разным операторам.

Источник систематического смещения нормальной высоты  $dH'$  – главным образом, различие начал отсчета высот (положения футштоков) в разных системах, а также систематическое смещение высот в БСВ-77 при удалении от Кронштадского футштока на восток [11].

Систематическое смещение модели геоида  $d\zeta$  обусловлено тем, что при спутниковом нивелировании используются глобальные модели геоида, в то время как нормальные высоты отсчитываются от квазигеоида. Кроме того, глобальные модели, созданные в основном по результатам спутниковых миссий и альтиметрии, не могут подробно отобразить геоид на территории России, имеющей мало открытой водной поверхности для альтиметрических моделей. Уточнение моделей геоида выполняется путем построения локальной модели квазигеоида, на основании ГНСС-измерений на сети нивелирных реперов. Параметры локальной модели зависят от выбора узловых точек и алгоритма создания модели [10].

### ***Смещение геодезических высот базовых станций***

Рассмотрим систематическое смещение геодезической высоты в условиях эксперимента. В большинстве случаев в карточках пунктов ДГС высота антенны указывается равной нулю. Референцной точкой (ARP – antenna reference point), к которой относятся координаты, является низ крепления антенны или, иначе, верх винта ее принудительного центрирования.

Информация об антеннах на ДГС приведена в таблице 2. С 2023 г. на станции ССДС НСО сменилось ГНСС-оборудование, но высота антенны осталась прежней.

Предположим, что при смене оборудования на ДГС ССДС НСО не были внесены поправки в карточку станции и в заголовки Rinex-файлов. Введем в геодезические высоты определяемых точек поправку за высоту антенны на базовой станции 0,114 м. Тогда сравнение геодезических высот точек, полученных от двух базовых станций, даст результат, приведенный в таблице 1 в последнем столбце. Как видно из таблицы 1, разности геодезических высот уменьшились. Максимальное расхождение 28 мм превышает допустимое значение всего на 1 мм.

*Таблица 2*

#### **Информация об антеннах на ДГС в р.п.Ордынское**

| ДГС      | Тип антенны | Высота антенны, м | Источник информации                    | Примечание            |
|----------|-------------|-------------------|----------------------------------------|-----------------------|
| PrinNet  | HX-CCSX601A | 0,000             | Карточка станции, RINEX-файл измерений |                       |
| ССДС НСО | CNTAT600    | 0,114             | Rinex-файл измерений                   | Установлена с 2023 г. |
| ССДС НСО | LEIAX1202GG | 0,114             | Rinex-файл измерений                   | До 2023 г.            |

Таким образом, наиболее вероятной причиной систематического смещения геодезических высот точек 1-4 в данном случае являются ошибочно заданные параметры антенны в карточке станции ССДС НСО и Rinx-файлах ГНСС-измерений после смены оборудования на станции.

### ***Смещение нормальных высот***

Смещение нормальных высот определяемых точек вызвано разностью применяемых моделей квазигеоида и способами получения нормальных высот. Вычисление нормальных высот базовых станций, расположенных на крышах зданий, выполняется по формуле (1). Непосредственное использование распространенной в ГНСС-технологиях модели геоида EGM-2008 для вычисления  $\zeta$  дает систематические смещения нормальных высот относительно БСВ-77 на уровне 30-50 см для Новосибирской области [12-14]. Уточнение глобальных моделей геоида выполняется по данным ГНСС-измерений на нивелирных реперах. При создании сети ССДС НСО сотрудники СГУГиТ выполняли привязку базовых станций к геодезическим пунктам и нивелирным реперам, уточняя тем самым модель EGM2008 [12-16]. Таким образом, каждая станция ССДС НСО имеет нормальную высоту с точностью IV класса геометрического нивелирования [12-14].

С помощью онлайн-калькулятора от университетского консорциума наук о Земле UNAVCO [17] были определены высоты геоида  $\zeta_0$  в районе работ, с использованием модели геоида EGM2008. По формуле (1) вычислены  $\zeta$  в точках 1-4, как разности геодезических и нормальных высот. Кроме того, для базовой станции ССДС НСО известна нормальная высота, с которой была вычислена высота квазигеоида. При этом геодезическая высота базовой станции была скорректирована на 0,114 м. Результаты приведены в табл.3.

*Таблица 3*

Высоты геоида над эллипсоидом в районе работ, м

| Оператор | Точки                                                   | □□ UNAVCO | □ RTK   | Разница |
|----------|---------------------------------------------------------|-----------|---------|---------|
| PrinNet  | точки 1-4                                               | -37,390   | -36,947 | 0,443   |
| ССДС НСО | точки 1-4                                               | -37,400   | -36,700 | 0,700   |
| ССДС НСО | базовая станция ORDN<br>(контр значения $H^{\square}$ ) | -37,400   | -36,952 | 0,448   |

Как видно из таблицы, разность измеренных и вычисленных  $\zeta$  в точках 1-4, определенных от станции PrinNet, практически совпадает со значением на базовой станции ССДС НСО. В то же время разности  $\zeta$  в точках 1-4, определенные от базовой станции ССДС НСО, значительно отличаются как от данных значений, так и от систематических смещений, полученных в [12, 13]. Причина такого смещения неизвестна.

### ***Качество ГНСС-измерений на базовых станциях***

Для уточнения источника систематического смещения по геодезической высоте, а также для определения качества работы базовых станций была выполнена

обработка ГНСС-измерений с помощью онлайн-сервисов AUSPOS (относительный метод ГНСС) [18] и CSRS-PPP (метод точного точечного позиционирования) [19]. Данные сервисы предоставляют координаты определяемых точек в ITRF на средний момент ГНСС-измерений. Плановые координаты постоянно изменяются из-за глобального движения литосферных плит, а вертикальные движения в моделях литосферных плит равны нулю. Базовые станции ORDН находятся в геодинамически спокойном регионе, поэтому их высота не должна меняться со временем. Результаты определения геодезических высот базовых станций представлены в табл.4.

Таблица 4

Результаты получения геодезических высот базовых станций, м

| ORDN     | AUSPOS<br>Высота антенны APR | CSRS-PPP<br>Высота антенны APR | Контрольные значения | Комментарии                                                                                                                                    |
|----------|------------------------------|--------------------------------|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PrinNet  | 97,847±0,008                 | 97,847±0,008                   | 97,860               | Приведено на сайте. Контрольное значение Н совпадает с вычисленным по координатам XYZ, приведенным в заголовке RINEX-файла                     |
| ССДС НСО | Обработать не удалось        | 100,358±0,008                  | 100,462              | На сайте контрольного значения нет. Высота Н вычислена по координатам XYZ, приведенным в заголовке RINEX-файла (одинаковых для 2017 и 2025 г.) |

Как видно из таблицы, значения геодезической высоты базовой станции PrinNet, определенные двумя методами, практически одинаковы и отличаются от значения, приведенного на сайте, на 13 мм, что входит в доверительный интервал, равный удвоенной ошибке вычисления высоты с помощью онлайн-сервисов.

Вычисленное значение геодезической высоты базовой станции ССДС НСО меньше исходного значения на 0,104 м, что косвенно подтверждает ошибку в высоте антенны на данной станции.

На основании отчетов по обработке, предоставляемых онлайн-сервисами, можно определить качество ГНСС-измерений на базовых станциях. Файл ГНСС-измерений на базовой станции ССДС НСО не удалось обработать относительным методом с помощью сервиса AUSPOS. По результатам обработки методом точного точечного позиционирования PPP с помощью сервиса CSRS-PPP видно, что на станции ССДС НСО были проблемы с отслеживанием спутников, см рис. 2. Возможно, в этом причина отказа обработки относительным методом AUSPOS, где требуется одновременное наблюдение спутников на пунктах IGS и определяемых станциях.

Представленный в отчетах CSRS-PPP процент фиксированного решения для станции PrinNet – 97,73 %, для станции ССДС НСО – 73,7 %.



Рис. 2. Результат отслеживания спутников и решения уравнений фазовых псевдодальностей в CSRS-PPP. Цвет: зеленый – фиксированное решение, красный – захват спутника (решения нет), желтый – плавающее решение, голубой – неоднозначность в данных

### *Заключение*

Как показали результаты получения координат точек в RTK от двух базовых станций, сходимость плановых координат как в WGS-84, так и в МСК-54, соответствует паспортной точности ГНСС-ровера. Такое согласие – результат включения базовых станций в ФСГС, где ГНСС-измерения обрабатываются ежедневно, и координаты уравниваются в единой системе координат относительно пунктов ФАГС и IGS [4-6].

Систематические смещения в геодезических высотах определяемых точек вызваны, вероятнее всего, ошибкой в высоте антенны базовой станции ССДС НСО, где не были внесены изменения после смены оборудования. Систематические смещения в нормальных высотах обусловлены различием применяемых локальных моделей квазигеоида.

Если в районе работ есть несколько ДГС, то при выборе оператора рекомендуется обращать внимание на следующие параметры:

- наличие станции в списке ФСГС, сведений о поверке оборудования и стабильности работы станции;

- открытые сведения об используемой ГНСС-аппаратуре, координатах, системе координат и эпохе, к которой они относятся;

- наличие в открытом доступе Rinx-файлов ГНСС-измерений для возможности постобработки и анализа качества ГНСС-измерений;

- удобство интерфейса на сайте оператора базовых станций.

Желательно на сайте ФСГС или в карточках базовых станций на сайтах их операторов предоставлять координаты в единой государственной системе ГСК-2011, хоть это и не предусмотрено в ФЗ о геодезии, картографии и ИПД [1] для коммерческих организаций и частных лиц.

Дальнейшее развитие координатного обеспечения с использованием дифференциальных геодезических станций связано с предоставлением пользователям нормальных высот в БСВ-77 в реальном времени, а именно, построение высокоточных моделей квазигеоида для спутникового нивелирования.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. О геодезии, картографии и пространственных данных. Федеральный закон от 30.12.2015 № 431-ФЗ. [Электронный ресурс] :– Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

2. Проблемы и перспективы развития активных спутниковых геодезических сетей в России и их интеграции в ITRF / В. С. Вдовин, В. В. Дворкин, А. П. Карпик, Л. А. Липатников, С. Д. Сорокин, Г. М. Стеблов // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 1. – С. 6–27
3. Об установлении требований к программным и техническим средствам, используемым при создании сетей дифференциальных геодезических станций. Приказ Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии № П/0322 от 02.09.2020. [Электронный ресурс] : Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
4. Федеральная сеть геодезических станций: загл. с экрана [Электронный ресурс] <https://cgkipd.ru/opendata/apk-fsgs.php>. Дата обращения: 15.05.2025
5. Федеральный закон от 04.08.2023 № 491-ФЗ "О внесении изменений в Федеральный закон "О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" и отдельные законодательные акты Российской Федерации" [Электронный ресурс] :– Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
6. Приказ Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии от 26.04.2024 № П/0123/24 "Об установлении требований к созданию, эксплуатации, функционированию и развитию федеральной сети геодезических станций ...» (Зарегистрирован 31.05.2024 № 78432) [Электронный ресурс] :– Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
7. RTK-сеть базовых станций PrinNet: загл. с экрана [электронный ресурс] <https://prinnet.ru/> Дата обращения: 15.05.25
8. Сеть спутниковых дифференциальных станций ГЛОНАСС НСО: загл. с экрана [электронный ресурс] <https://dtc.nso.ru/page/25> Дата обращения: 15.05.25
9. Федеральная сеть базовых станций EFT CORS: загл. с экрана [электронный ресурс] <https://eft-cors.ru> Дата обращения: 15.05.25
10. Гиенко Е.Г. Современные геодезические методы создания государственной координатной основы: учебно-методическое пособие/ Е.Г.Гиенко. – Новосибирск: СГУГиТ, 2024. – 104 с.
11. Ходаков П. А., Басманов А. В. Состояние главной высотной основы Российской Федерации с учётом результатов выполненных объёмов геометрического нивелирования в 2012-2018 гг //Геодезия и картография. – 2019. – Т. 80. – №. 5. – С. 12-22. DOI:10.22389/0016-7126-2019-947-5-12-22
12. Гиенко Е. Г., Решетов А. П., Струков А. А. Исследование точности получения нормальных высот и уклонов отвесной линии на территории Новосибирской области с помощью глобальной модели геоида EGM2008 //Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2011. – Т. 1. – №. 2. – С. 186-191.
13. Обиденко В. И., Опритова О. А., Решетов А. П. Разработка методики получения нормальных высот на территории Новосибирской области с использованием глобальной модели геоида EGM2008 //Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2016. – №. 1 (33). – С. 14-25.
14. Гиенко Е. Г., Елагин А. В., Резниченко К. Ю. Результаты построения локальной модели квазигеоида на территории геодезического учебного полигона СГУГИТ //Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2021. – Т. 1. – С. 252-260.
15. Лагутина Е. К. Апробация методики включения сети постоянно действующих базовых станций Новосибирской области в государственную геодезическую сеть //Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2016. – №. 3 (35). – С. 35-42.
16. Терещенко В. Е., Лагутина Е. К. Сравнение относительных смещений пунктов сети постоянно действующих базовых станций Новосибирской области, полученных с использованием различных онлайн-сервисов обработки спутниковых измерений //Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2019. – Т. 24. – №. 2. – С. 76-94.
17. Geoid Height Calculator: загл. с экрана [электронный ресурс] <https://www.unavco.org/software/geodetic-utilities/geoid-height-calculator/geoid-height-calculator.html> Дата обращения: 15.05.25
18. Onlain GPS Processing Service: загл. с экрана [электронный ресурс] <https://gnss.gov.au/auspos> Дата обращения: 15.05.25
19. Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning (CSRS-PPP): загл. с экрана [электронный ресурс] <https://natural-resources.canada.ca/maps-tools-publications/data> Дата обращения: 15.05.25