

СТАТЬЯ

УДК 528

DOI 10.17513/use.38256

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕТЕЙ ПОСТОЯННО ДЕЙСТВУЮЩИХ
БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ ВМЕСТО ТРАДИЦИОННЫХ
ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ****^{1,2}Макаров С.О., ^{2,1}Тихонов А.Д., ²Рудченко Г.А.**¹*Российский университет транспорта, Москва, e-mail: makstas96@ya.ru, tikhonov78@mail.ru;*²*Государственный университет по землеустройству, Москва, e-mail: rudchenkogeorg@mail.ru*

Аннотация. В данной статье рассмотрены вопросы, решение которых позволит в большей мере заменить при производстве геодезических работ спутниковой аппаратурой традиционные геодезические сети сетями постоянно действующих базовых станций. В связи с этим приводятся описание сетей базовых станций и принцип их работы. Приведен обзор сетей базовых станций, используемых в настоящий момент в нашей стране. Кратко описаны сферы применения сетей базовых станций и режимы работы аппаратуры. Представлена общая классификация сетей базовых станций, позволяющая провести аналогии с классами построения традиционных геодезических сетей. Описаны функционирование сети станций в общем и устройство типовой базовой станции. Показаны зоны покрытия сетями базовых станций на текущий момент на территории нашей страны. На основании детального анализа можно выделить основные проблемы: отсутствие единых требований к установке базовых станций; отсутствие требований к закреплению пунктов; отсутствие рекомендаций по плотности пунктов сети. Целью данной статьи является поиск оптимальных вариантов решения поставленных проблем. В заключение приводятся первоначальные варианты решения проблем в сфере использования сетей постоянно действующих базовых станций, а также обозначены проблемы, требующие более серьезной проработки.

Ключевые слова: геодезические спутниковые сети, сети базовых станций, требования к построению сетей**USING NETWORKS OF PERMANENT BASE STATIONS INSTEAD
OF TRADITIONAL GEODETIC NETWORKS****^{1,2}Makarov S.O., ^{1,2}Tikhonov A.D., ²Rudchenko G.A.**¹*Russian University of Transport, Moscow, e-mail: makstas96@ya.ru, tikhonov78@mail.ru;*²*State University of Land Management, Moscow, e-mail: rudchenkogeorg@mail.ru*

Annotation. In this article, the issues are considered, the solution of which will allow to a greater extent to replace traditional geodetic networks with networks of permanent base stations in the production of geodetic works with satellite equipment. In this regard, a description of the base station networks and the principle of their operation is provided. An overview of the base station networks currently in use in our country is provided. The scope of application of base station networks and operating modes of the equipment are briefly described. A general classification of base station networks, which allows us to draw analogies with the classes of construction of traditional geodetic networks. The operation of both the network of stations in general and the device of a typical base station is described. The coverage areas of the base station networks are currently shown on the territory of our country. Based on a detailed analysis, the main problems can be identified: the lack of uniform requirements for the installation of base stations; the lack of requirements for fixing points; the lack of recommendations on the density of network points. The purpose of the current article is to find optimal solutions to the problems posed. In conclusion, the initial solutions to problems in the field of using networks of permanent base stations are presented, as well as problems that require more serious study.

Keywords: geodetic satellite networks, base station networks, network construction requirements

Спутниковые методы позиционирования стали неотъемлемой частью геодезического производства. Если раньше применяли классические методы производства геодезических работ и тратили большое количество времени, то теперь на производство требуется гораздо меньше времени [1].

Дифференциальные сети (сети постоянно действующих базовых станций) – мощный инфраструктурный продукт, состоящий из различных подсистем [2].

Сети базовых (дифференциальных) станций создаются с целью обеспечения

полями поправок. Однако на сегодняшний день не существует требований, предъявляемых к плотности пунктов и установке антенн при развитии сетей дифференциальных (базовых станций).

Цели исследования – проанализировать требования к закреплению пунктов сети постоянно действующих базовых станций, а также требования к их расположению.

Материалы и методы исследования

Пункты сетей базовых станций работают в круглосуточном режиме. Собранные

данные по сигналам передаются по различным каналам связи в центр управления. Специализированное программное обеспечение, установленное на сервере центра управления, выполняет обработку спутниковых измерений и формирует необходимые данные для обеспечения работы пользователей в режиме постобработки и в режиме реального времени [3, 4]. На рисунке 1 приведена обобщенная схема работы постоянно действующих базовых станций.

В качестве материалов исследования выступают сети базовых станций. Несмотря на достаточно большое количество существующих сетей референционных станций, удобнее работать со следующими:

- 1) EFT COORS;
- 2) HIVE;
- 3) SmartNet.

Сети базовых станций EFT-COORS – современный инфраструктурный проект [5]. Каждый из пунктов дифференциальной (референционной) сети оснащен современным высокоточным геодезическим приемником, а также устройством для резервного копирования и источником бесперебойного питания для поддержания работы в течение суток. Антенны спутниковой сети уста-

навливаются на специальном кронштейне, который обеспечивает жесткое крепление и несбиваемость горизонтировки. Свыше 650 станций включено в сеть EFT COORS. На рисунке 2 приведено расположение станций сети базовых станций EFT-COORS.

Система HIVE – один из мощных развивающихся проектов, насчитывающий свыше 700 станций в 79 регионах страны.

Существует возможность представления координат в 2 вариантах: в геодезической системе координат (BLH) и в системе координат ITRF2014. На рисунке 3 приведены станции системы HIVE [6].

Сеть базовых станций SmartNet по сравнению с сетями EFT COORS и HIVE имеет меньшее количество базовых станций, но стоимость подписки на выполнение работ на порядок ниже [7]. Однако результаты предоставляются только в геодезической системе координат (BLH), в отличие от предыдущих 2 базовых станций.

Также существуют и специальные геодезические сети постоянно действующих базовых станций. Так, например, к такой классификации можно отнести сеть ОАО РЖД. В качестве примера можно выделить сеть, состоящую из каркасных и опорных пунктов вокруг МЦК [8-10].

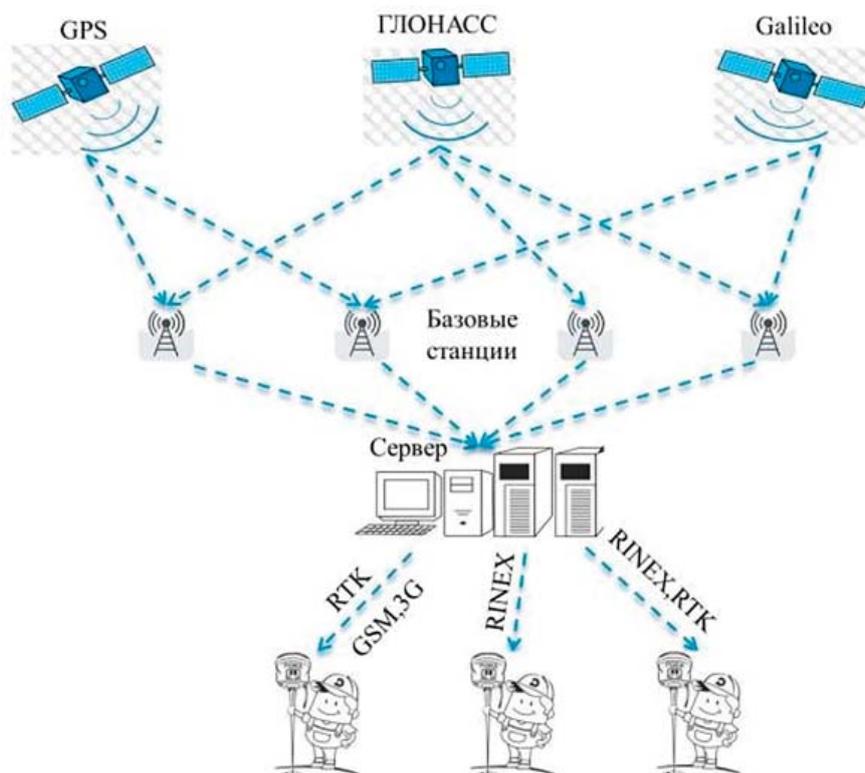


Рис. 1. Схема работы постоянно действующей базовой станции

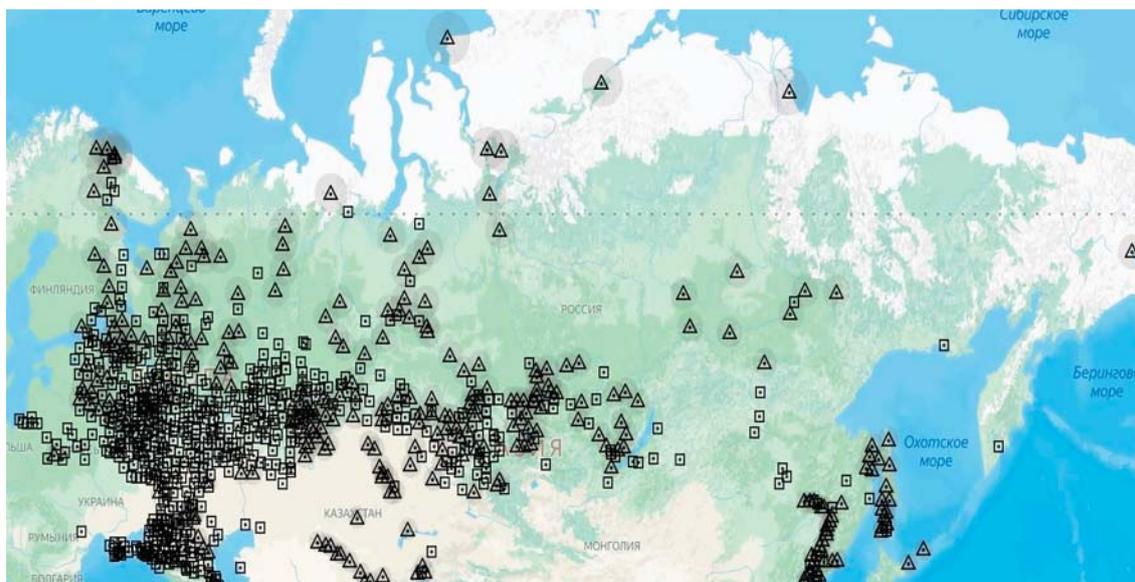


Рис. 2. Расположение постоянно действующих станций EFT COORS



Рис. 3. Расположение постоянно действующих станций HIVE

Результаты исследования и их обсуждение

Несмотря на то что спутниковые методы позиционирования постепенно заменяют классические методы производства топографо-геодезических работ, до сих пор остаются нерешенные вопросы:

1) отсутствие требований к закреплению пунктов постоянно действующих сетей базовых станций;

2) отсутствие требований к плотности пунктов в современных реалиях; в существующих нормативных документах не освещен вопрос по поводу плотности пунктов сетей базовых станций.

Закладка новых пунктов до необходимой плотности осуществляется на основании

технического задания. В связи с тем, что антенны устанавливаются на продолжительное время и любое смещение окажет неблагоприятное влияние на точность определения координат, предлагается устанавливать антенну на специальный адаптер с жесткой фиксацией горизонтирования (рис. 4).

На сегодняшний день пункты распределены неравномерно. Так, например, на территории г. Москвы расстояние между пунктами сетей базовых станций не превышает 10 км. В обжитых районах на территории РФ расстояние между смежными пунктами составляет не более 50 км. В то же время в малообжитых районах пункты расположены на расстоянии примерно 150 км, что, по нашему мнению, является недостаточным для бесперебойного покрытия полей поправок.



Рис. 4. Устройство для установки антенн

Для примера рассмотрены основные аспекты закрепления пунктов в сравнении с пунктами ГГС. В малообжитых территориях один пункт на 50–60 км²; в труднодоступных районах 1 пункт на 75–90 км²; в обжитых районах 1 пункт на 5–15 км².

В обжитых районах, где ГГС дополняется сетями сгущения: 1 пункт на 1 км² для незастроенной территории; 4 пункта на 1 км²

для застроенной территории. В то же время, с точки зрения СГС-1, при средней плотности сети расстояния между пунктами должно быть 25–35 км; 40–50 км в необжитых районах, кроме сейсмически активных.

Предлагаемые решения

По мнению авторов, оптимальным вариантом решения может быть следующее.

1. С точки зрения закрепления антенн сетей базовых станций, авторами предлагается использовать требования по закреплению центров геодезических пунктов.

2. С точки зрения плотности геодезических пунктов, рекомендуется закреплять пункты сети постоянно действующих базовых станций в диапазоне расстояний 50–60 км, поскольку в настоящее время регламентируется точность получения поправок с пунктов базовых станций не более 30 км. В настоящее время при таких параметрах обеспечивается покрытие всего лишь 30% территории страны, что, несомненно, недостаточно для бесперебойного покрытия полем поправок.

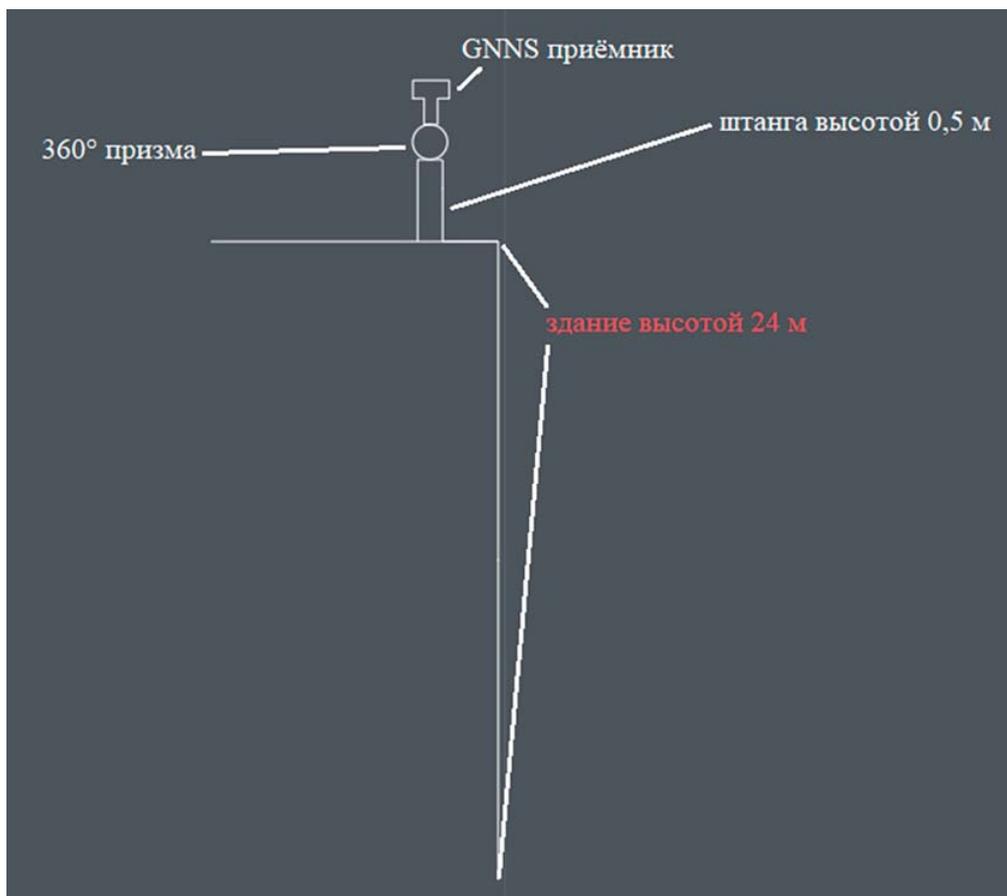


Рис. 5. Вариант базовой станции

Для постепенной замены пунктов «традиционных геодезических сетей» на пункты постоянно действующих (дифференциальных) сетей базовых станций авторами предлагаются следующие поправки в конструкцию базовых станций. На рисунке 5 приведен пример структуры базовой станции (вид сбоку).

Данная базовая станция состоит из 3 составляющих:

- 1) металлической штанги, жестко закрепленной к поверхности крыши;
- 2) 360-градусной призмы;
- 3) ГНСС-приемника, обеспеченного устройством бесперебойной работы.

Металлическая штанга необходима, чтобы была видна 360-градусная призма с поверхности земли при проложении, например, тахеометрического хода.

Благодаря использованию комбинации спутникового приемника и 360-градусной призмы появится возможность не только привязки к геодезической сети, но и отвязки от данных пунктов, что, несомненно, приведет к сокращению временных затрат на выполнение комплекса топографо-геодезических работ.

В статьях [1, 2] приводится классификация сетей базовых станций. В работах [11–13] описаны основные проблемы, связанные с сетями базовых станций. В работах [3, 14] приводится исследование на примере геодезического обеспечения сетями базовых станций на примере Республики Крым.

Заключение

Из проведенных исследований видно, что вопросы, связанные с размещением базовых станций, требуют более тщательной проработки. Остаются неизученные вопросы, требующие углубления исследований, в части:

- 1) размещения пунктов в зависимости от плотности;
- 2) исследования влияния расстояний на точность определения координат в режиме RTK свыше 10 км;
- 3) проведения полевых и камеральных работ по определению точности в различных вариациях созвездий;

4) колебаний центра антенны в зависимости от типа закрепления и климата.

Безусловно, востребованность применения систем базовых станций (СБС) в ближайшем будущем будет способствовать проведению данных исследований.

Список литературы

1. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Автоматизированные информационные системы управления: учебное пособие. М.: МГОУ, 2010. 80 с.
2. Тихонов А.Д., Кичатова И.М. Обзор сетей постоянно действующих базовых станций // Мир измерений. 2019. № 2. С. 26–28.
3. Гаврилова В.В., Шайтура С.В. Информационные модели данных и баз знаний в геоинформационных системах // Славянский форум. 2016. № 2 (12). С. 71–85.
4. Мутталибова Ш.Ф., Танырвердиев Ч.Г., Меджидова С.А., Литвинов Н.Ю. Оптимизация режимов функционирования RTK GPS геодезических сетей для кадастровых измерений // Геодезия и картография. 2018. № 2. С. 17–21. DOI: 10.22389/0016-7126-2018-932-2-17-21.
5. Eft-Cors [Электронный ресурс]. URL: <https://eft-cors.ru/> (дата обращения: 26.02.2024).
6. Система Hive [Электронный ресурс]. URL: <https://hive.geosystems.aero/> (дата обращения: 04.01.2024).
7. SmartNetRussia [Электронный ресурс]. URL: <http://smartnet-ru.com/index.htm> (дата обращения: 04.01.2024).
8. Концепция реализации комплексного научно-технического проекта «Цифровая железная дорога». Утверждена ОАО «РЖД» 05.12.2017 № 1285. М.: Кодекс, 2017. 92 с.
9. СП 233.132.6000.2015. Инфраструктура железнодорожного транспорта. Высоточная координатная основа Утвержден приказом Минтранса России № 191 от 17.06.2015 [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200124325> (дата обращения: 10.01.2024).
10. Приказ Минэкономразвития России «Об установлении требований к программным и техническим средствам, используемым при создании сетей дифференциальных геодезических станций» № 149 от 29.03.2017. [Электронный ресурс]. URL: <https://minjust.consultant.ru/documents/36458> (дата обращения: 03.02.2024).
11. Розенберг И.Н. Геоинформационное моделирование как фундаментальный метод познания // Перспективы науки и образования. 2016 № 3(21). С. 12–15.
12. Булгаков С.В., Ковальчук А.К., Цветков В.Я., Шайтура С.В. Интегрированные геоинформационные системы. М.: Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2007. 114 с.
13. Serpelloni E., Faccenna C., Spada G., Dong D., Williams S.D.P. Vertical GPS ground motion rates in the Euro-Mediterranean region: New evidence of velocity gradients at different spatial scales along the Nubia-Eurasia plate boundary // J. Geophys. Res. SolidEarth. 2013. Vol. 118. P. 6003–6024. DOI: 10.1002/2013JB010102.
14. Гебгарт А.А., Макаров С.О. Современное использование сетей постоянно действующих базовых станций // Славянский Форум. 2023. № 4(42). С. 386–391.