

СИСТЕМЫ ТОЧНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ ГНСС В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ

Л.В. Сысолятина («Эталон Урал Плюс», Екатеринбург)

В 2017 г. окончила магистратуру на кафедре астрономии, геодезии и мониторинга окружающей среды Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина по направлению «геодезия и дистанционное зондирование». С 2016 г. работает в ООО «Эталон Урал Плюс», в настоящее время — кадастровый инженер.

Т.И. Левитская (Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург)

В 1968 г. окончила физический факультет Уральского государственного университета им. А.М. Горького (УрГУ) по специальности «астроном-геодезист». После окончания университета работала в Институте метрологии (Свердловск). С 1970 г. работает в УрГУ (с 2011 г. — Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина), в настоящее время — доцент кафедры астрономии, геодезии и мониторинга окружающей среды. Кандидат технических наук.

Ф.В. Родионов («Эталон Урал Плюс», Екатеринбург)

В 2010 г. окончил физический факультет Уральского государственного университета им. А.М. Горького по специальности «информационные системы и технологии». С 2014 г. работает в ООО «Эталон Урал Плюс», в настоящее время — главный инженер.

Одним из условий успешного выполнения геодезических измерений, топографических и кадастровых работ, инженерных изысканий является эффективная система геодезического обеспечения. Именно исходные геодезические и картографические данные служат основой для получения значимых геодезических координат характерных точек, описывающих границы пространственного положения объекта недвижимости.

Однако использование пунктов государственной геодезической сети в качестве опорного обоснования часто сопровождается рядом трудностей. Их можно избежать, применяя системы точного позиционирования, основанные на сети ба-

зовых станций ГНСС — постоянно действующих дифференциальных станций, размещаемых на специально оборудованных пунктах с известными пространственными координатами [1, 2]. Пункты устанавливаются на местности по определенной схеме. Каждая станция представляет собой электронное устройство, которое выполняет прием и обработку сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Чтобы обеспечивать определение пространственного местоположения характерных точек объектов на обширной площади с одинаковой точностью и в единой системе отсчета (времени и координат), станции объединяют каналами связи с единым центром для приема, на-

копления, обработки и передачи корректирующей информации, а также контроля работы каждой станции. Для определения точных координат характерной точки объекта в режиме реального времени (RTK) корректирующая информация передается из единого центра по каналам связи на приемник ГНСС, установленный на этой точке, а для режима постобработки — размещается в сети Интернет.

Рассмотрим опыт использования систем точного позиционирования в зарубежных странах, которые имеют богатую историю, и создание в России аналогичных систем в связи с внедрением технологий ГНСС для решения различных прикладных задач.



Рис. 1

Расположение постоянно действующих дифференциальных станций сети CORS (www.ngs.noaa.gov/CORS_Map)

▼ Зарубежный опыт

В 1995 г., в США, под эгидой NGS (National Geodetic Survey) и NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) началось создание сети постоянно действующих станций, принимающих сигналы GPS, — CORS (Continuously Operating Reference Station), одной из основных целей которой являлось повышение оперативности, качества и точности геодезических работ. Сеть CORS функционирует, благодаря многоцелевой кооперации правительственных, академических и частных организаций. NGS предлагает организациям и частным лицам, имеющим собственные постоянно действующие дифференциальные станции GPS, сервис для обмена данными. Каждый владелец такой станции, предоставляя данные NGS, управляет ею независимо, а NGS, в свою очередь, анализирует и распространяет полученную и обработанную информацию. При этом, NGS включает в состав сети CORS станции организаций и частных лиц при условии, что они соответствуют установленным требованиям.

Динамика появления новых станций в сети CORS — пример-

но 150 станций в год. В 2003 г. она насчитывала порядка 400 станций, в августе 2015 г. — около 2000. Сеть продолжает расширяться, в ее состав входят станции более 200 различных организаций. На рис. 1 приведено расположение станций сети CORS на февраль 2018 г. Большинство из них находится на территории США, а сравнительно меньшее количество — в других странах [3].

Служба по картографии, кадастру и регистрации земель при Правительстве Швеции в 1993 г. начала создание на территории государства первой сети из пунктов, на которых были установлены постоянно

действующие дифференциальные станции GPS — SWEPOS. В то время сеть состояла из 21 пункта, размещенного на расстоянии 200 км друг от друга, а точность определения координат в режиме RTK приближалась к 1 м, а в режиме постобработки — к 1 см. За более чем 20 лет развития сеть SWEPOS доказала свою эффективность при проведении измерений в режиме реального времени, а также для геодинамических исследований. В 2014 г. в сеть SWEPOS входило более 300 станций, принимающих сигналы ГНСС, со средним расстоянием между ними около 40–70 км. Национальный сервис RTK, позволяющий работать в режиме реального времени, был создан в 2004 г. и к 2014 г. имел более 2000 зарегистрированных пользователей в Швеции (рис. 2). Одной из задач службы по картографии, кадастру и регистрации земель при Правительстве Швеции являлось увеличение количества станции в сети на 40 единиц в год. На февраль 2018 г. количество станций в сети составляло уже 457 (рис. 3). Основными потребителями сервиса RTK являются геодезические организации, местные органы власти, регулирующие землеустроительную и кадастровую деятельность, а также сельскохозяйственные

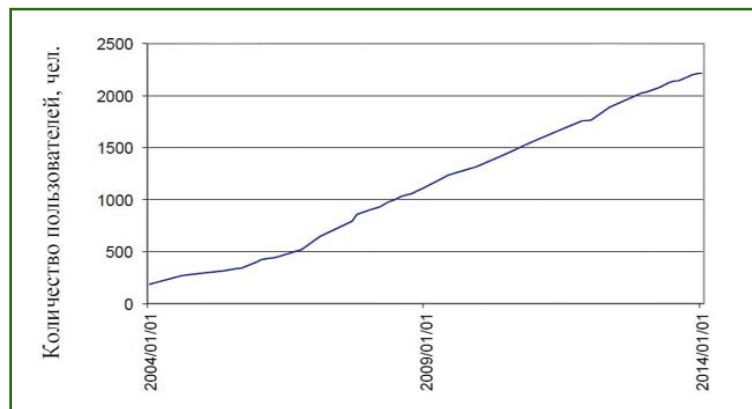


Рис. 2

Количество пользователей сервисом RTK в сети SWEPOS в Швеции с 2004 г. по 2014 г. [4]

предприятия, внедряющие технологию точного земледелия, и строительные компании для управления и контроля работой строительной техники и механизмов [4].

SAPOS (Satellite Positioning service of the German Land Surveying) — сервис спутникового позиционирования на территории ФРГ (www.sapos.de). Он основан на сети пунктов с постоянно действующими дифференциальными станциями ГНСС, созданной при участии Ассоциации геодезических управлений земель ФРГ — AdV. В 2015 г. сеть насчитывала порядка 270 пунктов, что обеспечивало предоставление сервиса SAPOS на всей территории ФРГ. Расстояния между пунктами сети не превышали 60 км. Средняя квадратическая погрешность определения координат в плане составляла порядка 5 мм, а геодезической высоты — 8 мм в единой трехмерной системе координат в Европе ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989) [5].

Программа EUPOS (European Position Determination System) — европейская система спутникового позиционирования, которая является международной некоммерческой инициативой государственных учреждений, предоставляющих услуги технологий ГНСС, была начата в 2002 г. На 2012 г. она включала около 2000 станций ГНСС. Обеспечение доступности, качества и надежности сервиса EUPOS достигается за счет нормативно-правовых мер контроля качества — технических стандартов для создания сетей из пунктов с постоянно действующими дифференциальными станциями на территории Европы [6].

В Нигерии с 2008 г. существует сеть NIGNET. В 2014 г. она насчитывала 11 станций со средним расстоянием между ними свыше 300 км, что покрывало только 25% территории



Рис. 3
Станции сети SWEPOS (<https://swepos.lantmateriet.se>)

страны. В работе [7] авторы предложили установить и подключить к сети новые станции, которые смогут увеличить территорию охвата до 96%. Они определили места для установки новых станций с учетом рельефа и расположения водоемов, основываясь на руководстве создания сети CORS в США. По итогам исследований был разработан проект сети, в соответствии с которым в каждом штате Нигерии предусматривалась установка одной станции (всего 49 станций), со средним расстоянием между ними порядка 100–150 км.

▼ Опыт Российской Федерации

Системы точного позиционирования в России в настоящее время находятся в стадии активного развития. Первый проект в этой области — Спутниковая система межевания земель (проект «Москва») — был реализован в 2004 г. на основе соглашения между Правительством РФ и Правительством Швейцарской Конфедерации от 30 марта 2001 г., одобренного Постановлением Правительства РФ от 9 июля 2001 г. № 525 [8].

Как отмечается в [9], к 2012 г. на территории Российской Федерации было выполне-

но более 28 проектов по развертыванию систем точного позиционирования, включающих более 270 постоянно действующих дифференциальных станций ГНСС. Остановимся на некоторых из них, а также на проектах, реализованных позднее, описание которых опубликовано в различных источниках.

С 2008 г. по 2010 г. специалистами ОАО «ВостСибНИИгипрозем» и ООО «НАВГЕОКОМ» (с 2017 г. — ООО «ГЕКСАГОН ГЕОСИСТЕМС РУС») был выполнен комплекс работ по созданию сети из постоянно действующих дифференциальных станций ГНСС на территории Красноярского края по заказу Агентства по управлению государственным имуществом Красноярского края. Количество станций составляло 18, что позволяло предоставлять корректирующую информацию на территории, площадью 118 200 км². В перспективе планировалось расширить зону покрытия до 270 000 км² [10].

Новосибирская область занимает одну из лидирующих позиций в создании спутниковых систем точного позиционирования. Прежде всего, этому предшествовала работа по созданию региональной (местной) системы координат на территорию

Новосибирской области (СК НСО), выполненная при участии Сибирского государственного университета геосистем и технологий (Новосибирск). СК НСО была введена в действие Постановлением Администрации Новосибирской области от 25 декабря 2009 г. №471-па. По состоянию на 2012 г. сеть состояла из 19 пунктов, и охватывала около 60% территории области. Пункты сети размещались на капитальных стенах зданий и имели надежную защиту. Установленные на пунктах постоянно действующие дифференциальные станции ГНСС были объединены оптоволоконной связью с вычислительным центром, которая обеспечивала надежную и высокоскоростную передачу данных. В перспективе планировалось заложить еще 12 пунктов, а также завершить работы по сертификации сети в Росстандарте для получения Свидетельства об утверждении типа средств измерений [11].

В 2014 г. за счет средств федерального бюджета в рамках

исполнения федеральной целевой программы «ЭРА-ГЛОНАСС» на территории Республики Башкортостан была создана сеть базисная опорная активная «Республика Башкортостан» — «Курай» из 24 пунктов с постоянно действующими дифференциальными станциями ГНСС (рис. 4). Сеть прошла сертификацию и включена в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений. Координаты пунктов были определены и уравнены относительно координат пунктов государственной геодезической сети (ФАГС, ВГС, СГС-1), а сеть рекомендована к применению при осуществлении геодезической и картографической деятельности. Допустимая абсолютная погрешность определения координат характерных точек объектов составила: в режиме постобработки — в плане 30 мм, по высоте 60 мм; в режиме реального времени — 60 мм и 90 мм, соответственно. Среднее расстояние между соседними станциями в 2016 г. составляло 70–80 км, что обеспечивало определение точных координат на 77% территории Республики Башкортостан [12].

ООО «НАВГЕОКОМ» совместно с компанией Leica Geosystems приняли решение инвестировать в первый в России независимый проект по созданию сервиса высокоточного позиционирования. Для старта проекта была выбрана Республика Татарстан, как один из наиболее экономически развитых регионов РФ. В начале 2013 г. специалистами компании «НАВГЕОКОМ» был завершён монтаж оборудования и введена в опытную эксплуатацию система высокоточного позиционирования, состоящая из 10 дифференциальных станций ГНСС и центра управления. В 2014 г. начался коммерческий этап проекта, названного SmartNet Russia,

были сформированы основные услуги, разработаны и введены тарифные планы. В 2016 г. представитель компании «НАВГЕОКОМ» выступил на научно-техническом совете АО «Роскартография», где обсуждались вопросы о статусе и порядке регистрации дифференциальных геодезических станций ГНСС, а также о легализации созданных систем высокоточного позиционирования и их использовании при реализации новой государственной системы координат ГСК–2011. Он сообщил, что в рамках проекта SmartNET Russia уже установлено более 200 станций и проект находится в стадии активного развития [13].

▼ Сравнительный анализ

Анализ существующих систем точного позиционирования на основе критериев, приведенных в таблице, показал, что корректирующая информация в некоторых странах предоставляется бесплатно при условии, что пользователь подключает свою дифференциальную станцию к сети. В России такая услуга, как правило, должна оплачиваться.

Сети, функционирующие за рубежом, построены на основе четких нормативно-правовых документов, что гарантирует надежность, точность и доступность передаваемой корректирующей информации. В РФ законодательная база в области создания и эксплуатации систем точного позиционирования только разрабатывается, а характер создания сетей из постоянно действующих дифференциальных геодезических станций ГНСС в большинстве случаев можно назвать бесконтрольным.

Созданные на территории РФ системы точного позиционирования значительно проигрывают по точности и величине

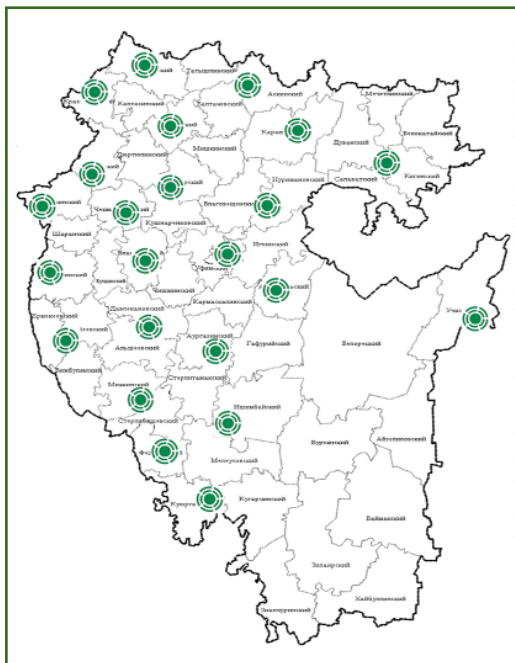


Рис. 4

Расположение пунктов сети «Республика Башкортостан» — «Курай» (<https://rosreestr.ru>)

среднего расстояния между станциями ГНСС, а, следовательно, и по площади территории, покрываемой корректирующей информацией, по сравнению с сетями в других странах.

В связи с тем, что координаты почти всех пунктов, на которых установлены дифференциальные геодезические станции, не включены в государственные каталоги координат, такие пункты и их координаты не могут указываться в технических и межевых планах в качестве геодезической основы при проведении и сдаче кадастровых работ.

▼ Проект сети дифференциальных геодезических станций ГНСС на территории Свердловской области

В настоящее время на территории Свердловской области отсутствуют сервисы высокоточного определения координат, основанные на современных технологиях ГНСС. Авторы считают создание таких сервисов в Свердловской области актуальной задачей, и первым шагом в ее решении может стать разработка проекта сети пунктов с постоянно действующими дифференциальными геодезическими станциями ГНСС. Опи-

раясь на рекомендации, приведенные в монографии [1], было определено необходимое количество станций ГНСС и выполнено моделирование конфигурации сети с выбором наиболее подходящих мест для их расположения.

Расчет количества станций сети для охвата сервисом высокоточного позиционирования всей территории Свердловской области был проведен по следующей формуле из [1]:

$$N = LW / (2R - O)^2,$$

где N — количество станций, L — длина территории, W — ширина территории, R — радиус рабочей зоны одной станции (максимум 80–100 км), O — область перекрытия рабочих зон между станциями.

Длина территории Свердловской области (L) составляет 560 км, ширина (W) — 660 км, а площадь — 194 800 км². Приняв радиус рабочей зоны каждой станции (R), равным 50 км, и область перекрытия рабочих зон станций (O) — 5 км, было определено, что для охвата сервисом высокоточного позиционирования всей территории Свердловской области потребуется создать сеть из 40–41 станции ГНСС.

Следует отметить, что приведенная формула может использоваться только для предварительного расчета необходимого количества станций, поскольку она учитывает их равномерное расположение по всей территории области. Окончательное решение о количестве станций принимается, исходя из потребности в сервисе высокоточного определения координат в отдельных районах и, конечно, из бюджета проекта.

На рис. 5 представлена схема проекта сети из 22 пунктов с постоянно действующими дифференциальными геодезическими станциями ГНСС на территории Свердловской области. Места их установки были выбраны в населенных пунктах с количеством жителей не менее 15 000 (по состоянию на 1 марта 2017 г.). Основная часть станций оказалась на юге области из-за наличия там густонаселенных районов, где наиболее вероятно проведение геодезических и кадастровых работ, а, следовательно, может возникнуть потребность в сервисе высокоточного определения координат. Расстояния между пунктами составили от 40 до 200 км.

Сравнительный анализ состояния и использования сетей дифференциальных геодезических станций в Российской Федерации и ряде зарубежных стран

Основные критерии	Зарубежные страны	Российская Федерация
Предоставление корректирующей информации	Частично бесплатно	Платно
Наличие нормативно-правовых актов, регламентирующих правила установки и эксплуатации станций и сетей из них	Есть	Нет
Количество станций, устанавливаемых в год	100–150	20–30
Предельно допустимая погрешность измерения координат, мм	3–5	30–50
Расстояние между станциями, км	20–70	70
Покрытие территории корректирующей информацией	Сплошное покрытие, обеспечивающее единую систему геодезических координат	Как правило, установка одиночных станций в отдельных регионах
Использование пунктов сети как пунктов государственной геодезической основы	Есть	Только в отдельных регионах

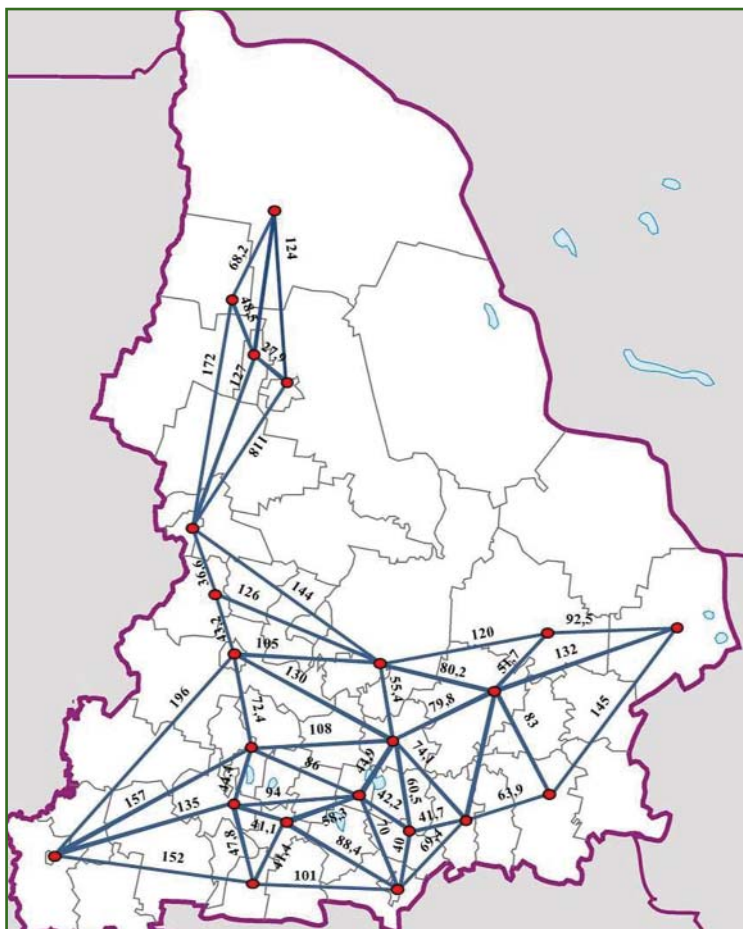


Рис. 5

Схема расположения пунктов проектируемой сети с постоянно действующими дифференциальными геодезическими станциями ГНСС на территории Свердловской области

Самой главной проблемой при создании сетей постоянно действующих дифференциальных геодезических станций ГНСС являются значительные экономические затраты. Однако, как показывает зарубежный опыт, спустя 5–10 лет после запуска системы точного позиционирования их владельцы окупают свои вложения и получают прибыль. Средства, потраченные на создание сети, и расходы на ее эксплуатацию возвращаются за счет предоставления доступа к дифференциальным поправкам в режиме реального времени или к файлам для постобработки и файлам «сырых» данных, размещаемым на сервере.

Разработанный проект сети станций ГНСС системы высоко-

точного определения координат авторы планируют направить в муниципальные и региональные органы власти Свердловской области, а также в Федеральную службу государственной регистрации, кадастра и картографии для принятия решения о его возможной реализации.

▼ Список литературы

1. Евстафьев О.В. Наземная инфраструктура ГНСС для точного позиционирования. — М.: ООО «Издательство «Проспект», 2009. — 48 с.
2. Федеральный закон от 30 декабря 2015 г. № 431-ФЗ «О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
3. Snay R., Soler T. Continuously Operating Reference Station (CORS):

History, Applications, and Future Enhancements // Journal of Surveying Engineering. — 2008. — Vol. 134, № 4. — P. 95–104.

4. Lilje M., Wiklund P., Hedling G. The Use of GNSS in Sweden and the National CORS Network SWEPOS // Engaging the Challenges — Enhancing the Relevance: FIG Congress, 16-21 June, 2014. — Kuala Lumpur, Malaysia, 2014. — 1550 p.

5. Самартов У.Д. [и др.]. Единая интегрированная геодезическая пространственная основа ФРГ. Структура и тенденции развития // Геопрофи. — 2015. — № 2. — С. 16–23.

6. European Position Determination System. — www.eupos.org.

7. Ali I.N., Samir S.I. An Assessment of the Existing Continuously Operating Reference Stations (CORS) in Nigeria: An Exploration Using Geographical Information System (GIS) // American Journal of Geographic Information System. — 2014. — № 3(4). — P. 147–157.

8. Бойков А.В. Теоретические основы и практическая реализация координатного обеспечения спутниковой системы межевания земель: проект «Москва»: дис. канд. тех. наук / Моск. гос. ун-т геодезии и картографии. — М., 2008. — 182 с.

9. Евстафьев О.В. Тенденции и проблемы развития спутниковых СТП в России // Геопрофи. — 2012. — № 3. — С. 9–13.

10. Находкин О.К. Космические технологии — на службу экономике // Земля и недвижимость Сибири. — 2010. — № 2(22). — С. 18–21.

11. Карпик А.П., Дюбанов А.В., Твердовский О.В. Обзор состояния использования и развития сетей референчных станций на основе инфраструктуры ГЛОНАСС в России // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. — 2012. — Т. 1. — № 1. — С. 176–182.

12. Юлманова И.И. Создание сети постоянно-действующих спутниковых станций // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. — 2016. — № 3. — С. 5–7.

13. Ванин С.А., Серегина Ю.В. История возникновения и развития проекта SmartNet Russia // Геопрофи. — 2016. — № 5. — С. 14–17.