

Комплексная система пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта

В.И. Куштин, А.А. Ревякин, Г.В. Колошина, А.М. Петренко

Ростовский государственный университет путей сообщения

Аннотация: Объектом исследований, результатом которых является представленная работа, являются комплексная система пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта, в рамках которой создана высокоточная система координат ОАО «РЖД», и методы определения нормальных высот в Балтийской системе высот 1977г. Описана стратегия и перспективы развития высокоскоростных транспортных магистралей (ВСМ). Приведены методы определения нормальных высот на объектах изысканий.

Ключевые слова: Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС), ГЛОНАСС, высокоскоростная магистраль (ВСМ), высокоточная координатная система (ВКС), система высот, квазигеоид.

Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 июня 2008 г. № 877-р предусматривает строительство скоростных и высокоскоростных железнодорожных магистралей.

В соответствии со «Стратегическими направлениями научно-технического развития железнодорожного транспорта» и «Программой организации скоростного и высокоскоростного движения» планируется строительство железнодорожных магистралей, на которых пассажирские поезда смогут развивать скорость более 300 километров в час.

Для решения важных прикладных задач обеспечения безопасности движения, мониторинга состояния инфраструктуры [1], управления перевозками и логистическими операциями на железнодорожном транспорте ОАО «РЖД» проводит целенаправленную и системно выстроенную работу по внедрению спутниковых технологий. Особое внимание уделено созданию

в ОАО «РЖД» единого координатного пространства и единой системы ведения баз геопространственных данных (электронных карт) на базе геоинформационных систем ГИС РЖД, позволяющих создать надёжный механизм интеграции и синхронизации прикладных информационно-управляющих систем [2].

Следует подчеркнуть, что проектирование и строительство железных дорог с эксплуатационными характеристиками для указанных скоростей требуют разработки и утверждения совершенно новой нормативно-технической и нормативно-правовой базы как основы утверждения любых проектных и технических решений строительства высокоскоростных магистралей.

В соответствии с Распоряжением Президента ОАО «РЖД» В. И. Якунина от 03.12.2010 № 2511р создана комплексная система пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта, главные цели которой заключаются в обеспечении безопасности высокоскоростного движения, эффективного получения и использования достоверных, актуальных и точных пространственных данных при проектировании, строительстве, ремонте, реконструкции и эксплуатации объектов железнодорожного транспорта; осуществление систематического высокоточного контроля геометрических параметров пути, а также комплексной диагностики пути и состояния объектов железнодорожной инфраструктуры в едином координатном пространстве; сокращение трудовых, материальных затрат и времени на инженерные изыскания, проектирование, строительство и эксплуатацию высокоскоростных магистралей; повышение привлекательности железнодорожных пассажирских перевозок по сравнению с другими видами перевозок; обеспечение высокой точности позиционирования при выполнении

геодезических работ на железнодорожном транспорте в едином координатно-временном пространстве.

В рамках комплексной системы пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта создается высокоточная координатная система ОАО «РЖД».

Область применения высокоточной координатной системы достаточно широка: определение местоположения и состояния различных объектов железной дороги от инфраструктуры до подвижного состава [3], отслеживание и мониторинг событий, связанных с железнодорожной инфраструктурой, причем, в единой координатно-временной системе. Обеспечивается единство измерений при выполнении различных работ инженерно-геодезических и других видов изысканий для проектирования, инженерно-геодезического сопровождения, выполнения исполнительных съемок при строительстве, реконструкции, ремонте сооружений. Контроль положения комплексов ремонтных машин, путеизмерительной техники, координатное обеспечение наземного и мобильного лазерного сканирования, георадарных съемок и других видов работ, выполняемых в интересах обеспечения безопасности эксплуатации инфраструктуры железнодорожного транспорта и подвижного состава[4-6].

Высокоточная координатная система формирует совокупность следующих взаимосвязанных сегментов:

- космический с орбитальной группировкой навигационных спутников;
- наземный комплекс управления и контроля;
- сегмент потребителя.

Функции дифференциальной подсистемы ГНСС, включающей в себя сеть постоянно действующих спутниковых базовых станций, заключаются в постоянном приеме навигационной информации, поступающей от спутников и ее экспорт по системе передачи данных РЖД в сетевой центр, в котором

выполняется вычисление и передача дифференциальных поправок для уточнения координат пользователям по каналам беспроводной связи.

Применение технологий ГНСС дает возможность для построения множество разновидностей цифровой модели трассы. Также это касается построения цифровой модели оси пути, использование которой применяется при решении широкого круга задач: начиная от управления движением и заканчивая контролем геометрического положения пути [7,8].

Планово-высотную привязку пунктов опорной геодезической сети выполняют в соответствии с Техническим проектом с учетом требований, изложенных в ГОСТ 32453-2017 «Глобальная навигационная спутниковая система. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек», СП 47.13330.2012 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-967» и СП 11-104 «Инженерно-геодезические изыскания для строительства».

Координаты пунктов опорной геодезической сети получают относительным методом спутниковых координатных определений с применением сетевого метода набора спутниковых измерений в режиме «Статика», обеспечивающего наивысшую точность взаимного положения смежных пунктов сети.

Геодезическую привязку базовых станций к пунктам высокоточных геодезических сетей (ВГС), координаты которых определены в геоцентрической общеземной системе координат ITRF2008 спутниковыми способами позиционирования относительно пунктов фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС), осуществляют спутниковыми приемниками геодезического класса точности с использованием специальных универсальных программ, т.е. сети ВГС принимают как

каркасные для создания опорной геодезической сети, координаты пунктов которой реализуют местную железнодорожную систему координат.

Измерительная информация, полученная с не менее чем двух пунктов ВГС, включается в совместную обработку результатов непрерывных синхронных измерений, выполненных в сети базовых станций в течение трех суток.

В итоге средняя квадратическая погрешность взаимного положения смежных базовых станций не должна превышать 20 миллиметров, а предельная – 40 миллиметров.

В каталоге международной сети IGS приведены координаты исходных пунктов в международной пространственной геоцентрической системе координат ITRF2008 на 01.10.2011., которые приводят на текущую эпоху (временной период) и обратно, учитывая направление и величину годового смещения пунктов. Доступ к координатам и данным измерений с исходных пунктов осуществляют через сеть Интернет.

Местная железнодорожная система координат, за основу которой принимают международную геоцентрическую систему координат ITRF2008 [9], в своем составе содержит пространственную и плоскую системы координат, которые в свою очередь связаны с государственными [10] и местными системами координат различных субъектов Российской Федерации.

Для описания высотного положения пунктов опорной геодезической сети, как и на всей территории РФ, используется система нормальных высот (Балтийская система 1977 г.), которые считаются от основной уровенной поверхности, проходящей через ноль Кронштадтского футштока. Для обеспечения этой системы высот используют реперы (нивелирные пункты) I и II классов государственной нивелирной сети, от которых методами

геометрического нивелирования определяют нормальные высоты всех пунктов опорной геодезической сети.

Спутниковые методы координатных определений позволяют получить лишь геодезические высоты, являющиеся расстояниями от пунктов опорной геодезической сети до поверхности отсчетного эллипсоида по нормали.

Геодезическая и нормальная высоты связаны между собой соотношением:

$$H = H^y + \zeta, \text{ где}$$

H – геодезическая высота определяемой точки,

H^y – нормальная высота определяемой точки,

ζ - высота квазигеоида (аномалия высоты) над эллипсоидом в определяемой точке, которую находят методами астрономического и астрономо-гравиметрического нивелирования.

Зная высоты квазигеоида в определяемых точках, можно перейти от геодезических высот, определенных спутниковыми методами позиционирования к нормальным высотам.

Для этого при привязке к пунктам государственной геодезической сети (ГГС) необходимо выполнить также спутниковые наблюдения и на пунктах государственной нивелирной сети (ГНС) I-III классов, удаленных от оси железной дороги не более чем на 2 км и с достаточно хорошими условиями видимости небесной сферы.

Разности полученных в результате спутниковых определений значений геодезических и известных нормальных высот будут являться высотами квазигеоида на каждом пункте ГНС.

Для получения нормальных высот в произвольных точках потребуется выполнить на них относительные спутниковые определения планового положения и геодезической высоты. Линейной интерполяцией от точек с известными значениями высот квазигеоида, получают значения аномалий

высот в определяемых точках, используя которые, находят нормальные высоты. Для удобства интерполяции или автоматизации этого процесса на участок выполнения работ строится регулярная сетка величин аномалий высот с дискретностью (шагом), сопоставимой со средним расстоянием между точками с известными значениями высот квазигеоида.

В используемом для обработки спутниковых измерений программном обеспечении может быть сформирована локальная модель квазигеоида, которая в дальнейшем будет использована при обработке спутниковых определений в произвольных точках объектов изысканий.

Литература

1. Денисова О.А., Соболева О.Н. Анализ недвижимого имущества ОАО «РЖД». Сборник научных трудов «Транспорт: наука, образование, производство» (Транспорт-2019), Том 3. Технические науки. Рост. гос. ун-т. путей сообщения. Ростов н/Д, 2019. С.62-66.
2. Куштин В.И., Петренко А.М. Высокоточная система координат ОАО «РЖД». Сборник научных трудов «Транспорт: наука, образование, производство» (Транспорт-2017), Том 2. Технические науки. Рост. гос. ун-т. путей сообщения. Ростов н/Д, 2017. С. 282 – 286.
3. Kushtin V.I., Dobrynin N.F., Ermakov V.M., Suvorova T.V., Novakovich V.I. Increasing the accuracy of autonomous satellite coordinate determination of the objects of transport infrastructure / International Journal of Applied Engineering Research. 2016. T. 11. № 23. С. 11439-11441.
4. Gerald F. Marshall Handbook of Optical and Laser Scanning, Marcel Dekker, Inc., 2004.



5. Dassot, M., Constant, T., & Fournier, M. (2011). The use of terrestrial LiDAR technology in forest science: application fields, benefits and challenges. *Annals of forest science*, 68(5), 959-974.
7. Ознамец В.В. Геодезическое обеспечение мобильного лазерного сканирования железных дорог. *Наука и технологии железных дорог*. 2019. Т.3. № 2 (10). С. 64-76.
8. Ознамец В.В. Геодезическое обеспечение железнодорожных трасс. *Наука и технологии железных дорог*. 2019. Т.3. №3 (11). С. 50-60.
9. The International Terrestrial Reference Frame (ITRF). URL: itrf.ensg.ign.fr.
10. Куштин В.И. Преобразование координат, используемых в геодезии. *Инженерный вестник Дона*, №4(2), 2012. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2012.

References

1. Denisova O.A., Soboleva O.N. Sbornik nauchnykh trudov «Transport: nauka, obrazovaniye, proizvodstvo» (Transport-2019), Tom 3. Tekhnicheskiye nauki. Rost. gos. un-t. putey soobshcheniya. Rostov n/D, 2019. pp. 62-66.
 2. Kushtin V.I., Petrenko A.M. Sbornik nauchnykh trudov «Transport: nauka, obrazovaniye, proizvodstvo» (Transport-2017), Tom 2. Tekhnicheskiye nauki. Rost. gos. un-t. putey soobshcheniya. Rostov n/D, 2017. pp. 282 – 286.
 3. Kushtin V.I., Dobrynin N.F., Ermakov V.M., Suvorova T.V., Novakovich V.I. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2016. T. 11. № 23. pp. 11439-11441.
 4. Gerald F. Marshall Handbook of Optical and Laser Scanning, Marcel Dekker, Inc., 2004.
-



5. Dassot, M., Constant, T., & Fournier, M. (2011). The use of terrestrial LiDAR technology in forest science: application fields, benefits and challenges. *Annals of forest science*, 68(5), 959-974.
7. Oznamets V.V. *Nauka i tekhnologii zheleznykh dorog*. 2019. T.3. № 2 (10). pp. 64-76.
8. Oznamets V.V. *Nauka i tekhnologii zheleznykh dorog*. 2019. T.3. №3 (11). pp. 50-60.
9. The International Terrestrial Reference Frame (ITRF). URL: itrf.ensg.ign.fr.
10. Kushtin V.I. *Inzhenernyj vestnik Dona*, №4(2), 2012. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2012.