

УДК 681.518.5:624.21

Д. Г. Назаров

ООО «Мостовое бюро»

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННО-СКАНЕРНЫХ СИСТЕМ НА ОБЪЕКТАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

В строительстве новых и реконструкции существующих железнодорожных линий находят широкое применение современные измерительные средства и способы сбора геопространственных данных. Выполнен сравнительный анализ различных способов получения материалов инженерно-геодезических изысканий на объектах железнодорожной инфраструктуры (тахеометрическая съемка с применением электронных тахеометров, спутникового оборудования, наземного лазерного сканирования, мобильных навигационно-сканерных систем). При решении данной задачи широкое внимание уделялось минимизации процесса полевых работ, полноте информации об объектах исследования. Рассматривались возможности интеграции материалов инженерно-геодезических изысканий в специализированные геоинформационные системы. Показаны преимущества и недостатки каждого из применяемых способов.

топографическая съемка; железнодорожная инфраструктура; геопространственные данные; геодезическое оборудование; тахеометр; спутниковая аппаратура; наземное лазерное сканирование; мобильные навигационно-сканерные системы

Введение

Современные тенденции развития железнодорожного транспорта в России предусматривают строительство ряда крупных железнодорожных магистралей грузопассажирского и высокоскоростного назначения. В период с 2016 по 2030 г. планируется динамичное расширение сети: строительство 22,3 тыс. км железных дорог, увеличение контейнерного транзита до 1 млн контейнеров в год. План строительства железных дорог включает следующие этапы [1]:

- развитие транспортной доступности (стратегические) – 6079 км;
- развитие устойчивого сообщения (социально-значимые) – 2032 км;
- создание новых грузопотоков (грузообразующие) – 5120 км;
- разгрузка участков магистралей (технологические) – 6674 км;
- скоростное пассажирское сообщение (высокоскоростные) – 2399 км.

В настоящее время актуально использование комплексных систем по сбору геопространственных данных как существующих объектов железнодорожной инфраструктуры, так и строящихся линий. Применение современных

программно-вычислительных комплексов позволит оперативно и своевременно решать задачи по сбору и хранению геопространственных данных.

1 Постановка задачи

Для реализации возросших потребностей развивающейся железнодорожной инфраструктуры необходима точная геодезическая информация об исследуемых объектах. Поэтому была поставлена задача – проанализировать современные способы сбора геодезических данных, применяемых на железнодорожном транспорте.

Рассматривался широкий спектр применения геодезических данных: от стадии инженерно-геодезических изысканий до мониторинга состояния верхнего строения пути и инфраструктуры железнодорожных магистралей.

2 Тахеометрическая съемка при помощи электронного тахеометра

Электронный тахеометр – геодезический прибор, объединяющий в себе электронный теодолит, светодальномер и ЭВМ. В настоящее время тахеометрическая съемка при помощи электронного тахеометра является одним из основных методов топографической съемки, а также геодезического контроля этапов строительства на всех стадиях.

Анализ нормативно-технических документов [2] показывает, что обычно применяются модели тахеометров со среднеквадратичной погрешностью измерения углов $m_{\beta} = 2'' - 6''$ и относительной среднеквадратичной погрешностью измерения расстояний $m_s = 3 \text{ мм} + 2 \text{ мм/км}$ (1:200000). Модели с такими характеристиками отвечают требованиям нормативных документов к точности создания съемочной сети и съемке ситуации, что подтверждено исследованиями [3, 4].

Существуют роботизированные электронные тахеометры [5, 6]. Они оборудованы сервоприводами, которые позволяют в автоматическом режиме отслеживать передвижение активной призмы. Данные приборы также позволяют выполнять съемку заданного участка в режиме сканирования. В описанной схеме отражатель не требуется, расстояния при этом измеряют в безотражательном режиме с автоматическим измерением горизонтальных и вертикальных углов от исходного, причем интервал сканирования можно задавать. Такие электронные тахеометры оборудуются встроенной цифровой фотокамерой, которая позволяет вести абрис по фотоснимкам и записывать их в память прибора. Данная модель позволяет сократить трудозатраты на проведение геодезических работ.

Необходимо отметить ряд недостатков электронного тахеометра: оборудование является метеозависимым – на его работу влияют атмосферные осадки высокой интенсивности, низкая температура воздуха.

3 Съёмка при помощи спутниковой аппаратуры

Спутниковая геодезическая аппаратура в настоящее время находит широкое применение на железнодорожном транспорте. С ее помощью выполняют топографическую съёмку [2, 3, 7], решают задачи, связанные с мониторингом, навигацией на железнодорожном транспорте.

При съёмке железнодорожных перегонов и станций с применением спутниковой геодезической аппаратуры не нужно сгущать съёмочную сеть – для съёмки достаточно одного пункта. Также необходимо сказать, что съёмка железнодорожных станций с помощью спутниковой аппаратуры возможна не всегда. При ограниченной видимости небесной сферы, из-за занятости путей подвижным составом происходит экранирование спутниковых сигналов и появление ошибок многолучевости, характерных для данных условий, что не позволяет производить съёмку с нормативно требуемым уровнем точности.

Современные спутниковые радионавигационные системы GNSS [8] в режиме RTK (Real Time Kinematic) позволяют с высокой точностью определять координаты (8 мм в плане и 15 мм по высоте), что создает предпосылки для использования данной технологии.

4 Съёмка при помощи наземного лазерного сканирования

Сегодня наземное лазерное сканирование (НЛС) находит все более широкое применение в инженерной геодезии. Этот способ съёмки используется для автоматического определения пространственных координат множества точек, расположенных на поверхности объекта съёмки [9].

Принцип действия наземного сканера основан на методе полярной за-сечки. С помощью встроенного в сканер лазерного безотражательного даль-номера в автоматическом режиме измеряются расстояния до каждой точки объекта съёмки. Направление излучаемого дальномером лазерного луча изменяется в параллельных и перпендикулярных плоскостях осей вращения сканера специальной системой, которая называется системой развертки. При съёмке ось вращения сканера в отвесное положение приводят по круглому уровню или не приводят совсем. По углам поворота луча и измеренному рас-стоянию встроенный в сканер процессор вычисляет трехмерные координаты каждой точки объекта съёмки [10].

Результатом сканерной съемки является пространственная модель объекта в виде множества (облака) точек, каждая из которых имеет пространственные координаты (x, y, z) , выраженные в условной системе координат сканера. При интеграции НЛС с системой спутникового позиционирования система координат может быть различной в зависимости от поставленной задачи, например в WGS 84 (World Geodetic System 1984). Информацию о реальном цвете точки и об интенсивности отражения от нее лазерного луча дальности можно получить по рис. 1. Эту модель можно рассматривать на экране компьютера под разными углами зрения и в разных проекциях, а также выполнять на ней обмер интересующих частей объекта съемки.

Ограниченное поле зрения сканера и форма объекта съемки обычно не позволяют остановиться на съемке с одной стоянки прибора. Поэтому сканирование выполняют с нескольких позиций сканера. Учитывая трехмерность облаков, для их объединения и приведения координат всех точек к единой системе координат каждое облако точек должно иметь не менее трех общих точек с соседними. Общими точками служат характерные, особенно четкие точки объекта или специальные марки, располагаемые перед съемкой на объекте и автоматически распознающиеся программным обеспечением в облаке точек [11].

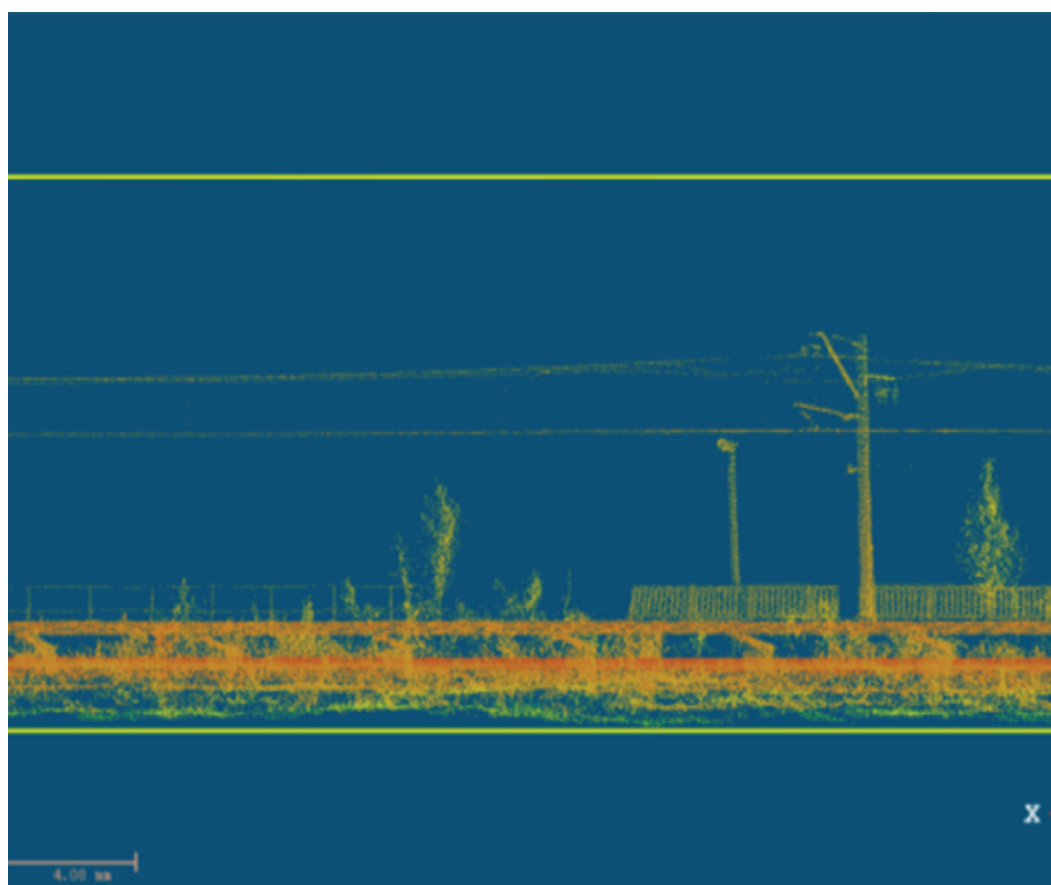


Рис. 1. Трехмерная модель железнодорожной платформы

Необходимо отметить ряд достоинств данного вида съемки по сравнению с тахеометрической съемкой электронным тахеометром или спутниковой геодезической аппаратурой:

- высокая детализация;
- автоматическое выполнение измерений в безотражательном режиме;
- высокая скорость измерений, в современных сканерах достигающая 1 млн точек в секунду;
- высокая точность результатов измерения наземными лазерными сканерами фазового типа.

Основным недостатком сканерной съемки является стоимость оборудования, превышающая стоимость наиболее распространенных моделей электронных тахеометров в 10–15 раз, а также возникновение мертвых зон в процессе съемки тех или иных объектов.

В настоящее время области применения наземных лазерных сканеров расширяются. Разрабатывают новые и совершенствуют существующие технологии наземной сканерной съемки местности и различных инженерно-технических сооружений. Лазерное сканирование применяют для исполнительных съемок памятников архитектуры, реконструкции и мониторинга мостов, топографической съемки местности, съемок инженерных сооружений различного назначения и в других областях, в том числе на объектах железнодорожного транспорта [10].

5 Съемка при помощи мобильных навигационно-сканерных систем

Анализ специализированной литературы и интернет-сайтов говорит о широком интересе к автоматизированным путеизмерительным комплексам (АПК) ведущих железных дорог мира (рис. 2). Для достижения высокой точности, уменьшения трудозатрат и времени выполнения работ сегодня используют навигационно-сканерные системы [12].

АПК представляют собой тележку, перемещаемую по железнодорожному пути вручную либо при помощи специализированного привода со скоростью пешехода, на которой установлено измерительное оборудование. Существует следующие автоматизированные путеизмерительные комплексы:

- Leica GRP 3000 System Fx (Amberg Technologies AG, Швейцария);
- Tachy Rail (Geo-Metrik AG, Германия);
- АПК «Профиль» (Сибирский государственный университет путей сообщения, Новосибирск);
- Swiss Trolley (Terra Vermessungen AG, Швейцария).

Три зарубежные модели оснащены электронными тахеометрами и спутниковой аппаратурой, что позволяет работать в различных конфигурациях



Рис. 2. Внешний вид путеизмерительного комплекса Swiss Trolley

в зависимости от поставленной задачи. Кроме измерения положения железнодорожного пути в плане и по высоте, оборудование всех АПК позволяет измерять ширину колеи, возвышение наружного рельса, стрелы изгиба и перекосы [4, 6].

В данной статье анализ выполнен на примере Swiss Trolley (Terra Vermessungen AG). Измерительный навигационно-сканерный комплекс [13] состоит:

- из тележки, оборудованной датчиками пройденного пути (по каждой рельсовой нитке), ширины колеи и наклона (инклинометры);
- комплекта GNSS (Global Navigating Satellite System), наземных лазерных сканеров фазового типа SICK;
- программного пакета сбора и обработки информации;
- роботизированных тахеометров.

АПК применяется для проектно-изыскательских работ, решает задачу автоматизации процесса съемки путей, позволяет получать оперативную и высокоточную информацию о плановом и высотном положении, информацию о геометрических характеристиках пути. Информация предоставляется в виде планов и продольных профилей, а также в виде трехмерной модели местности. С заданной дискретностью спутниковая аппаратура определяет геоцентрические координаты. Современное программное обеспечение по-

зволяет переводить геоцентрические координаты в прямоугольные, используя при этом различные проекции и геодезические высоты. Важным параметром является высотная составляющая; зная высоты квазигеоида над поверхностью используемого земного эллипсоида, можно перейти к нормальным высотам (Балтийская система высот).

Необходимо также отметить, что вышеупомянутая система позволяет интегрировать создаваемые ЦММ (цифровая модель местности) в различные ГИС (геоинформационные системы). При этом выходная информация будет обладать всеми преимуществами наземного лазерного сканирования.

Заключение

В статье проанализированы современные способы получения геопространственных данных, каждый из вышерассмотренных способов по своему актуален и целесообразен в зависимости от поставленных задач. Современная обработка данных, полученных разными способами, и сравнение их позволяют сделать вывод о том, что АПК объединил в себе преимущества рассмотренных способов, компенсируя недостаток одного достоинством другого. Навигационно-сканерный способ позволяет получать трехмерные модели объектов железнодорожной инфраструктуры, что положительно сказывается на оперативности и конструктивности решения комплекса задач по проектированию на всех стадиях. Опыт ведущих мировых железнодорожных держав подтверждает актуальность использования АПК. Несмотря на применение современного геодезического оборудования, топографическая съемка железнодорожной инфраструктуры требует больших временных и людских затрат. Использование мобильных навигационно-сканерных систем дает возможность значительно сократить их, позволяет решать комплекс проектно-изыскательских задач. Необходимо отметить, что мобильные навигационно-сканерные системы имеют возможность интегрироваться в создаваемые ЦММ. При этом выходная информация будет обладать всеми преимуществами наземного лазерного сканирования.

Библиографический список

1. Верхатуров Д. АПН Железные дороги России : настоящие и возможное будущее / Д. Верхатуров. – URL : <http://www.apn.ru/publications/print17542.htm>.
2. ГОСТ 21.1702–96. Правила выполнения рабочей документации железнодорожные пути. – М. : Минстрой России, 1996. – 25 с.
3. Пимшина Т.Н. Исследование технологии электронно-блочной тахеометрии при выполнении изысканий железных дорог / Т.Н. Пимшина // Транспорт–2003 : тр.

- науч.-теор. конференции профессорско-преподавательского состава. – Ростов н/Д : Ростовский гос. ун-т путей сообщения, 2003. – С. 58–59.
4. Полетаев А. В. О точности измерений при съемке железнодорожного пути электронными тахеометрами / А. В. Полетаев, П. В. Бобарыкин // Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации транспортных объектов : материалы Международной конференции. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2003. – С. 64–67.
 5. Самратов У. Д. О точности определения геометрических параметров железнодорожного пути с помощью АПК / У. Д. Самратов // Геопрофи. – 2007. – № 6. – С. 28–32.
 6. Евстафьев О. В. Smartstation новый прибор компании Leica Geosystems / О. В. Евстафьев // Геопрофи. – 2005. – № 1. – С. 40–42.
 7. Инструкция по составлению техническо-распорядительных актов железнодорожных станций ОАО «РЖД» № ХЗ-3801. – М. : Техинформ, 2005. – 66 с.
 8. Полетаев В. И. Методика съемки железнодорожного пути с использованием спутниковых GPS-приемников / В. И. Полетаев, П. В. Бобарыкин, А. С. Саяпин // Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации транспортных объектов : материалы Международной конференции. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2003. – С. 60–61.
 9. Гусев В. Н. Основы наземной лазерно-сканирующей съемки : учеб. пособие / В. Н. Гусев, А. И. Науменко, Е. М. Волохов, В. А. Голованов. – СПб. : Санкт-Петербургский гос. горный институт (Технический университет), 2007. – 56 с.
 10. Канашин Н. В. Съемка железнодорожных станций методом лазерного сканирования / Н. В. Канашин // Путь и путевое хозяйство. – 2008. – № 7. – С. 21–23.
 11. Медведев Е. М. Лазерная локация земли и леса : учеб. пособие / Е. М. Медведев, Е. М. Данилин, С. Р. Мельников. – 2-е изд. – М. : Геолидар : Геокосмос ; Красноярск : Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2007. – 229 с.
 12. Шурин К. Ю. Опыт применения мобильного лазерного сканирования и тепловизионной съемки на объектах ТЭК / К. Ю. Шурин // Геопрофи. – 2013. – № 2. – С. 53–57.
 13. Руководство пользователя Swiss trolley. – Цюрих, 2007. – 38 с.

Denis G. Nazarov
«Bridge Bureau» Ltd.

Experience in application of mobile navigation scanning systems at railway transport facilities

The construction of new and reconstruction of existing railway lines are widely use modern measuring tools and methods of collecting geospatial data. The content and presentation of the material of this article provide the comparative analysis of different methods of obtaining the materials of topographical survey on railway infrastructure facilities (tacheometrical survey using total stations, satellite

equipment, surface laser scanning, as well as mobile navigation and scanner systems). During the solving of this problem the full attention was given to minimize the process of field work, as well as to the completeness of information about the object of survey. The article considers the possibility of the integration of materials of topographical surveys into specialized geoinformation systems GIS. The article also presents the pros and cons of each of the methods used.

topographic survey; railway infrastructure; geospatial data; land survey equipment; tacheometer; satellite equipment; surface laser scanning; mobile navigation scanning systems

References

1. Verkhaturov D. APN «Russian Railways: the existing and possible future» [APN «Zheleznyye dorogi Rossii: nastoyashchiye i vozmozhnoye budushchiye»], <http://www.apn.ru/publications/print17542.htm>.
2. Rules of executing of working documentation for rail ways [Pravila vypolneniya rabochey dokumentatsii zheleznodorozhnyye puti] GOST 21.1702–96. Moscow, Ministry of Russia, 25 p.
3. Pimshina T. N. (2003). Research on the technology of electronic and block tacheometer measurements during the railway location survey [Issledovaniye tekhnologii elektronno-blochnoy takheometrii pri vypolnenii izyskaniy zheleznykh dorog], Transport-2003. Proceedings of scientific and theoretical conference of academic teaching staff (Trudy nauchno-teoreticheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava). Rostov-on-Don, Rostov state transport university (Rostovskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya), pp. 58–59.
4. Poletaev A. V., Bobarykin P. V. (2003). On accuracy of measurements during the exploration survey of railway track by electronic tacheometers [O tochnosti izmereniy pri s'yemke zheleznodorozhnogo puti elektronnyimi takheometrami], Modern problems of design, construction and operation of transport facilities. Materials of international conference (Sovremennyye problemy proyektirovaniya, stroitel'stva i ekspluatatsii transportnykh ob'yektov. Materialy mezhdunarodnoy konferentsii). St. Petersburg, Peterburg state transport university (Peterburgskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya), pp. 64–67.
5. Samratov U. D. (2007). On accuracy of geometry parameters definition of railway track using APK [O tochnosti opredeleniya geometricheskikh parametrov zheleznodorozhnogo puti s pomoshch'yu APK], Geoprofi, issue 6, pp. 28–32.
6. Evstaf'ev O. V. (2005). Smartstation: new Leica Geosystems invention [Smartstation novyy pribor kompanii Leica Geosystems], Geoprofi, issue 1, pp. 40–42.
7. Manual for drafting the technological instruction for JSC «RZD» railway stations [Instruktsiya po sostavleniyu tekhnicheskogo rasporyaditel'nykh aktov zheleznodorozhnykh stantsiy OAO «RZhD»]: N X3-3801 (2005). Moscow, Tekhinform, 66 p.
8. Poletaev V. I., Bobarykin P. V., Sayapin A. S. (2003). Method of exploration survey of railway track using satellite GPS-receiver [Metodika s'yemki zheleznodorozhnogo puti s ispol'zovaniyem sputnikovykh GPS-priyemnikov], Modern problems of

- design, construction and operation of transport facilities. Materials of international conference (Sovremennyye problemy proyektirovaniya, stroitel'stva i ekspluatatsii transportnykh ob'yektov. Materialy mezhdunarodnoy konferentsii). St. Petersburg, Peterburg state transport university (Peterburgskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya), pp. 60–61.
9. Gusev V.N., Naumenko A.I., Volohov E.M., Golovanov V.A. (2007). Fundamentals of surface laser and scanning exploration survey [Osnovy nazemnoy lazernoskaniruyushchey s'yemki]: textbook. St. Petersburg, Saint Petersburg state mining university (engineering institute) (Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy gornyy institut (tekhnicheskiiy universitet)), 56 p.
 10. Kanashin N.V. (2008). Railway station exploration survey by laser scanning [S'yemka zheleznodorozhnykh stantsiy metodom lazernogo skanirovaniya], Railway track and tack facilities (Put' i putevoye khozyaystvo), issue 7, pp. 21–23.
 11. Medvedev E.M., Danilin E.M., Mel'nikov S.R. (2007). Laser scanning of ground and forest [Lazernaya lokatsiya zemli i lesa]: textbook, 2nd edition, Moscow, Geoliodar, Geokosmos, Krasnoyarsk, Sukachev Institute of Forest SO RAN, 229 p.
 12. Shurin K. Yu. (2013). Experience of application the mobile laser scanning and thermal-imaging at the TEK facilities [Opyt primeneniya mobil'nogo lazernogo skanirovaniya i teplovizionnoy s'yemki na ob'yektakh TEK], Geoprofi, issue 2, pp. 53–57.
 13. Swiss trolley operation manual [Rukovodstvo pol'zovatelya Swiss trolley] (2007), Zurich, 38 p.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии Вал. В. Сапожниковым
Поступила в редакцию 25.02.2016, принята к публикации 29.05.2016*

НАЗАРОВ Денис Григорьевич – ведущий инженер-геодезист ООО «Мостовое бюро».
e-mail: nazarovdg1916@mail.ru

© Назаров Д. Г., 2016