

УДК-656.2

Д-р техн. наук В. И. УМАНСКИЙ, канд. техн. наук С. В. ДУХИН, инж. Д. А. ЯКУШЕВ

Автоматизация формирования электронных карт для локомотивных устройств безопасности и систем управления движением по данным видеопаспортизации и мобильного лазерного сканирования (МЛС)

Аннотация. Задача формирования единых электронных карт для различных локомотивных устройств безопасности и управления чрезвычайно актуальна, ее реализация призвана повысить безопасность движения и сократить затраты на подготовку электронных карт. Новые возможности формирования карт предоставляет комплексная система пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта (КСПД ИЖТ), в которую заносятся координаты всех путевых объектов по результатам обработки данных мобильного лазерного сканирования, полученные в высокоточной координатной системе. Информацией являются координированные в трехмерном пространстве точки отражений от всех объектов, измеренные с субсантиметровой точностью и аннотированные фотоснимками, что позволяет провести идентификацию всех значимых с точки зрения безопасности движения на железнодорожном транспорте объектов.

В статье рассмотрен метод полуавтоматической подготовки данных для формирования макета электронных карт полигонов обращения.

Представленные технологии автоматизированного формирования единых электронных карт для различных локомотивных устройств безопасности позволяют достичь высокой производительности, однозначности, устранить субъективный фактор и консолидировать процесс актуализации.

Ключевые слова: единая электронная карта локомотивных устройств безопасности движения; электронная карта полигона обращения (ЭКПО); сканированные данные; комплексная система пространственных данных

Формирование единых электронных карт для различных локомотивных устройств безопасности, таких как **КЛУБ** (комплексное локомотивное устройство безопасности), **БЛОК** (безопасный локомотивный объединенный комплекс) и **САУТ** (система автоматического управления торможением поездов), является важной и актуальной задачей, призванной сократить затраты и повысить безопасность движения. В настоящее время в качестве источников основных исходных данных используются однопольные схемы СЦБ (системы централизации и блокировки), путевые планы станций и перегонов, действующие ограничения скорости движения. Привязка путевых объектов к географическим координатам осуществляется ручным полуавтоматическим способом, в основном — по километровым столбам. Эта технология имеет существенные недостатки:

- **недостаточная точность** (десятки метров) географических и линейных координат путей и путевых объектов, что обусловлено несовершенством используемой автономной спутниковой навигации, а также сильным влиянием человеческого фактора;

- **отсутствие видеорегистрации** инфраструктуры железнодорожных участков, что ухудшает реальное восприятие пространственных железнодорожных объектов;

- **форматы представления и значения данных** об этих и тех же путях и путевых объектах не согласованы для различных устройств и зачастую противоречивы.

В то же время применение новых методов формирования пространственных данных по результатам видеопаспортизации и мобильного лазерного сканирования (МЛС), выполненного в высокоточном координатном пространстве, дает возможность практически в автоматическом режиме получить точные координаты объектов инфраструктуры для формирования электронных карт устройств безопасности. С этой целью необходимо согласовать описание всех участвующих в формировании карт объектов [1], разработать процедуру автоматического определения их пространственных координат, специальное программное обеспечение по формированию оси пути с координатными метками объектов инфраструктуры и интерфейсы для загрузки карт в конкретные устройства безопасности [2].

С точки зрения безопасности движения основные типы объектов путевой инфраструктуры ОАО «РЖД», имеющие уникальное описание [3], приведены во врезке.

Описание объектов компонуется в формат электронной карты по определенным правилам из специально подготовленных таблиц. В соответствии с [4] электронная карта полигона обращения (ЭКПО) получается в результате следующих этапов работ (рис. 1).

Первоначальное формирование макета осуществляется в программе «Конструктор» путем расстановки километровых столбов и значимых объектов вдоль условной (прямой) оси пути отдельно для направления туда и обратно. Затем с помощью устройства

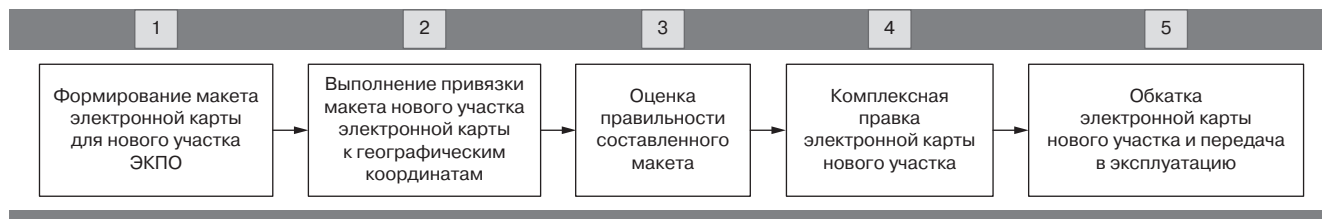


Рис. 1. Схема формирования ЭКПО

формирования карт (УФК) [5] в процессе проезда по участку снимаются координаты проекций километровых столбов на ось пути (рис. 2), т. е. географическим координатам привязываются только километровые столбы, остальные объекты отсчитываются от них по линейной координате.

Процесс съемки координат достаточно трудоемкий и ответственный, поскольку движение по перегону осуществляется в нитке графика, а остановка (или тем более движение назад) является нештатной ситуацией.

Для автоматизации данного процесса и преодоления существующих недостатков была разработана система видеопаспортизации, в которой комплексируются данные спутниковой навигационной системы и видеоряда, получаемые, например, с вагонов-путеизмерителей. Подобный способ позволяет создавать в полуавтоматическом режиме макеты карт безопасности с метровой точностью. На этой основе реализуется система ЕГИС ТПС (единая геоинформационная система тягового подвижного состава) [6], объективной характеристикой которой является погрешность определения местоположения объектов в диапазоне 1 – 5 м, что обусловлено ошибками GPS/ГЛОНАСС-позиционирования и приемлемо для данной задачи.

Новые возможности формирования карт безопасности предоставляет комплексная система пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта (КСПД ИЖТ), куда заносятся координаты всех путевых объектов по результатам обработки данных мобильного лазерного сканирования, полученные в высокоточной координатной системе. Информацией являются координированные в трехмерном пространстве точки отражений от всех объектов, измеренные с субсантиметровой точностью и аннотированные фотоснимками, позволяющими провести их визуальную идентификацию.

Процесс стандартной камеральной обработки (в рамках формирования базы КСПД ИЖТ) предполагает создание трехмерной модели ИЖТ с относительной точностью 5 мм – 15 см в зависимости от типа объекта. При этом определяется положение всех видимых устройств в пределах железнодорожного полотна. Абсолютная погрешность местоположения определяется используемой инерциальной навигационной системой (в идеальном случае в режиме

Основные объекты путевой инфраструктуры РЖД, определяющие безопасность движения:

1. Станция;
2. Перегон;
3. Остановочный пункт;
4. Платформа;
5. Отрезок привязки пути (от стрелки до стрелки или от стрелки до тупика);
6. Стрелочный перевод;
7. Глухое пересечение;
8. Светофор;
9. Точка смены пути (задается оператором ЭКПО);
10. Точка смены элементарного участка (задается оператором ЭКПО);
11. Место проверки тормозов;
12. Ограничение скорости;
13. Переезд;
14. Отметка высоты над уровнем моря;
15. Координаты границ кривой;
16. Тупик;
17. Конец контактной подвески;
18. Координаты границ рельсовой цепи;
19. Координаты путевого генератора САУТ;
20. Граница напольных устройств КТСМ;
21. Координата датчиков УКСПС;
22. Координаты границ моста;
23. Водопропускное сооружение;
24. Тоннель;
25. Координаты нейтральной вставки;
26. Координаты токораздела;
27. Координаты карстоопасного участка;
28. Опасное место (негабарит).

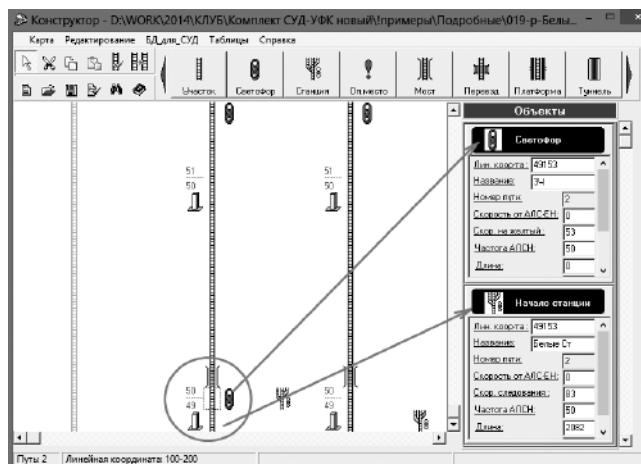


Рис. 2. Внешний вид программы подготовки макета ЭКПО

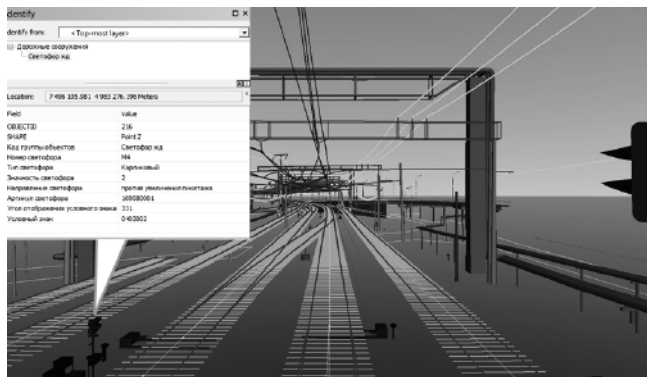


Рис. 3. Векторная модель инфраструктуры железнодорожного транспорта

постобработки — 5 см) и наличием реперной сети (в идеальном случае после уравнивания точек относительно реперов — 1–3 см).

Получаемая в результате обработки векторная модель инфраструктуры железнодорожного транспорта имеет географическую и линейную координату, а также аннотируется информацией из информационных систем ОАО «РЖД» (тип, номер устройства и т. д.) (рис. 3).

В качестве эксперимента для оценки трудоемкости была проведена работа по использованию данных КСПД ИЖТ для формирования ЭКПО на участке Москва — Рязань (180 км).

Требовалось подготовить необходимые для ЭКПО данные в табличном виде для их последующего импорта в формат макета карты безопасности (.map) в целях автоматизации этапов 1–4 схемы, изображенной на рис. 1.

В соответствии с руководством по эксплуатации устройства УФК были определены 13 объектов и их описание, необходимые для загрузки в ПО «Конструктор». Четыре объекта: датчик УКСПС (устройство контроля схода подвижного состава), датчик САУТ (системы автоматического управления торможением), «Тормоза» (место проверки тормозов), «Опасное место» — определяются с привлечением дополнительной информации.

Работа была организована в соответствии со схемой, изображенной на рис. 4.

Согласованный формат выходной таблицы отдельно разработан для каждого устройства,

таблица отсортирована по возрастанию пикетажа в пределах каждого километра и необходимым образом атрибутирована.

Кроме того, для таблицы пикетных отметок должно быть рассчитано истинное расстояние между километровыми и пикетными столбами на поверхности земли [7, 8]. За основу взят метод касательных (Ньютона) [6], где решение уравнения $f(x) = 0$ сводится к итерационной процедуре:

$$x_{n+1} = x_0 - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)}, \quad (1)$$

где x_0 — начальное приближение; x_n и x_{n+1} — точки предыдущего и последующего приближения.

В нашем случае функция имеет вид

$$f(x) = ax + bx^3 + \frac{c}{x} + \frac{d}{x^3} + e,$$

где $a = 1 - k$; $k = 1 + \frac{H}{R_\alpha + H} \left(1 + \frac{y_m^2}{2R_\alpha^2} + \frac{\Delta y_1^2}{24R_\alpha^2} \right)$; $b = \frac{1}{24R_\alpha^2} k$; $c = -\frac{h^2}{2}$; $d = -\frac{h^4}{8}$; $e = -D''$; $f'(x_n) = a + 3bx^2 - \frac{c}{x^2} - \frac{3d}{x^4}$ — коэффициенты уравнения.

Метод позволяет найти корень заданной функции путем построения последовательных приближений и основан на принципах простой итерации;

h — разность нормальных высот концов линии;

H — среднее значение высоты линии над эллипсоидом;

y — координата точки в проекции Гаусса — Крюгера с вычетом номера зоны (первая цифра) и — 500 000 м;

$$\Delta y = y_1 - y_2;$$

$$y_m = \frac{y_1 + y_2}{2};$$

R_α — средний радиус кривизны эллипсоида в средней точке линии, для территории РФ — всегда 6 380 000 м.

В качестве начального приближения выбираем $x_0 = D''$, далее используем итерационную процедуру (1).

Вывод. Представленные технологии автоматизированного формирования единых электронных карт для различных локомотивных устройств безопасности позволяют достичь высокой производительности, однозначности, устранить субъективный фактор и консолидировать процесс актуализации.

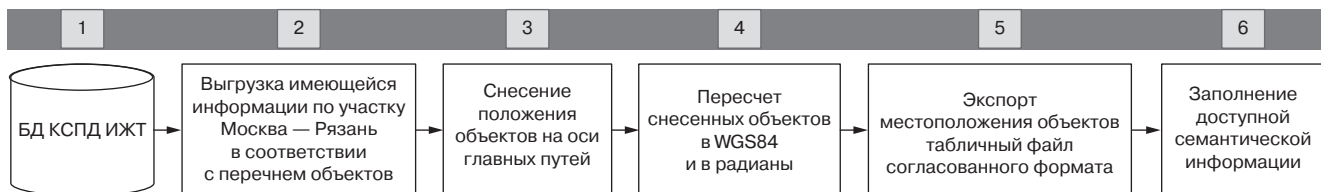


Рис. 4. Схема организации работ по предоставлению информации по картам безопасности из КСПД ИЖТ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Станционные системы автоматики и телемеханики: учеб. для вузов ж.-д. транспорта / Вл. В. Сапожников [и др.]; под ред. Вл. В. Сапожникова. М.: Транспорт, 1997. 432 с.
2. Блок электроники локомотивный. Руководство по эксплуатации. 36991–10–00 РЭ ИРЗ 2007 г. 112 с.
3. Унифицированное комплексное локомотивное устройство безопасности (КЛУБ-У): учеб. пособие / под ред. В. И. Зорина и В. А. Астрахана. М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. 177 с.
4. Инструкция о порядке формирования, внесения изменений и ввода в эксплуатацию электронных карт систем КЛУБ-У, КЛУБ-УП, БЛОК: распоряжение ОАО «РЖД» от 15 января 2014 г. № 44р. 22 с.
5. Устройство УФК. Руководство по эксплуатации ЦВИА. 468157.028 РЭ ИРЗ 2007 г. 71 с.
6. Вержбицкий В. М. Основы численных методов: учеб. для вузов. М.: Директ-Медиа, 2013. 204 с.
7. Закатов П. С. Курс высшей геодезии. М.: Недра, 1976. 126 с.
8. Федотов Г. А. Инженерная геодезия. М.: Высшая школа, 2004. 407 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

УМАНСКИЙ Владимир Ильич,
заместитель директора, ОАО «НИИАС».
107996, Москва, Орликов пер., д. 5, стр. 1.
Тел.: (985) 727-52-13.
E-mail: umanvi@yandex.ru

ДУХИН Степан Владимирович,
руководитель научно-технического комплекса
геоинформационных систем и спутниковых технологий,
ОАО «НИИАС».
107996, Москва, Орликов пер., д. 5, стр. 1.
Тел.: (985) 773-07-14.
E-mail: s.duhin@vnias.ru

ЯКУШЕВ Дмитрий Алексеевич,
начальник отдела перспективного развития и нормирования,
ЗАО «Транспутстрой».
107996, Москва, Орликов пер., д. 5, стр. 2.
Тел.: (916) 250-12-00.
E-mail: yakush.d@gmail.com

Video Certification and Mobile Laser Scanning Data Based Automation of Electronic Maps Generation for Use with Locomotive Safety Devices and Traffic Control Systems

Vladimir I. Umansky, Dr. of Technical Science, Deputy Director, JSC NIAS. Building 1, 5 Orlikov lane, 107996 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (985) 727 5213. E-mail: umanvi@yandex.ru

Stepan V. Dukhin, Candidate of Technical Science, Head of Engineering Complex for Geoinformation Systems and Satellite-Based Technologies, JSC NIAS. Building 1, 5 Orlikov lane, 107996 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (985) 773 0714. E-mail: s.duhin@vnias.ru

Dmitriy A. Yakushev, Head of Department for Prospective Development and Normalization, CJSC 'Transput'stroi'. Building 2, 5 Orlikov lane, 107996 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (916) 250 1200. E-mail: yakush.d@gmail.com

Abstract. The task of unified maps generation for various type locomotive safety and control devices proves to be an extremely crucial one. Its solution will lead to better traffic safety conditions and lesser electronic maps preparation costs. Railway infrastructure spatial data system (KSPD IZhT), containing coordinates of all the track objects in a high-precision coordinate system as obtained through processing of the mobile laser scanning outcomes, opens up new map generation opportunities. Information represents the total of track objects' reflection points coordinated in three-dimensional space, evaluated within the sub-centimeter accuracy and annotated with photos, thus allowing to identify all the railway objects significant in the context of railway traffic safety provisions.

The paper describes semi-automatic data origination process supporting electronic map montages generation procedure of operating domains.

The presented automated generation procedures of unified electronic maps intended for various-type locomotive safety devices contribute to better productivity and unambiguity, elimination of subjective factor and consolidation of information updating process.

Keywords: unified electronic map for locomotive traffic safety devices; electronic map of operating domain (EMOD); scanned data; comprehensive spatial data system

References

1. Sapozhnikov V.V. et al. *Stantsionnye sistemy avtomatiki i telemekhaniki* [The station automation and remote control systems]. Moscow, Transport Publ., 1997. 432 p.
2. *The locomotive electronics unit*. Manual. 36991-10-00 RE IRZ. 2007. 112 p. (in Russ.).
3. Zorin V. I., Astrakhan V. A., eds. *Unifitsirovannoe kompleksnoe lokomotivnoe ustroystvo bezopasnosti (KLUB-U)* [Unified complex locomotive safety device (KLUB-U)]. Moscow, Educational and Training Center in Railway Transport Publ., 2008. 177 p.
4. *Instruction on the procedure of formation, modification and commissioning of electronic charts systems KLUB-U, KLUB-UP, BLOK*. The Order of ОАО «Russian Railways» of January 15, 2014 N 44r. 22 p. (in Russ.).
5. *The device UFK*. Operating Instructions TZVIA. 468157.028 RE IRZ. 2007. 71 p. (in Russ.).
6. Verzhbitskiy V. M. *Osnovy chislennykh metodov* [Basics of numerical methods]. Moscow, Direkt-Media Publ., 2013. 204 p.
7. Zakatov P. S. *Kurs vysshey geodezii* [Course of higher geodesy]. Moscow, Nedra Publ., 1976. 126 p.
8. Fedotov G. A. *Inzhenernaya geodeziya* [Engineering geodesy]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2004. 407 p.