

Формирование электронных карт для безопасности локомотивных устройств и систем управления движением электропоездов по данным мобильного лазерного сканирования*

С. К. Дулин, Д. А. Якушев

dulin@ccas.ru; D.Yakushev@gismps.ru

Акционерное Общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте», Москва, Россия, 109029, Нижегородская ул., 27 стр. 1

Задача формирования единых электронных карт для различных локомотивных устройств безопасности и управления движением электропоездов чрезвычайно актуальна, ее реализация призвана повысить безопасность движения. Новые возможности формирования карт предоставляет комплексная система пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта (КСПД ИЖТ), в которую заносятся координаты всех техногенных 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 техногенных объектов.

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

DOI: 10.21469/22233792.4.1.01

1 Введение

Формирование единых электронных карт для различных локомотивных устройств безопасности, таких как:

- *КЛУБ* (комплексное локомотивное устройство безопасности)
- *БЛОК* (безопасный локомотивный объединенный комплекс)
- *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 одноточечные схемы СЦБ (системы централизации и блокировки), путевые планы станций и перегонов, действующие ограничения скорости движения. Привязка путевых объектов к географическим координатам осуществляется ручным полуматематическим 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;

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-20-02205 офи_м_РЖД).

- *отсутствие видеорегистрации* инфраструктуры железнодорожных участков, что ухудшает реальное восприятие пространственных железнодорожных объектов;
- *форматы представления и значения данных* об одних 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 выгрузки карт в конкретные устройства безопасности [2].

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

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 ЭЖПО);
- 10) точка смены элементарного участка (задается оператором ЭЖПО);
- 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).

Описание объектов компоуется 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).



Рис. 1 Схема формирования ЭКПО

Ранее основным инструментом формирования ЭКПО было устройство формирования карт (УФК) [5], которое служит для создания базы данных по железнодорожным объектам для выполнения рабочих алгоритмов.

Первоначальное формирование макета осуществляется в программе «Конструктор» путем расстановки километровых столбов вдоль условной (прямой) оси пути, причем отдельно для направления туда и обратно. Практически все остальные этапы выполняются с проведением натурных измерений при движении локомотива со скоростью 3 – 5 км/ч, в процессе которого записывается местоположение каждого объекта в блокноте с последующим переносом информации в макет. К географическим координатам привязываются только километровые столбы, остальные объекты отсчитываются от них по линейной координате.

Процесс трудоемкий и требует специфического мышления, т. к. все объекты расставляются вдоль прямой без учета фактических расстояний между ними (рис. 2), кроме того для каждого пути объекты расставляются дважды в направлении увеличения пикетажа и обратно.

Для автоматизации данного процесса и преодоления существующих недостатков была разработана система видеопаспортизации, в которой комплексуются 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.

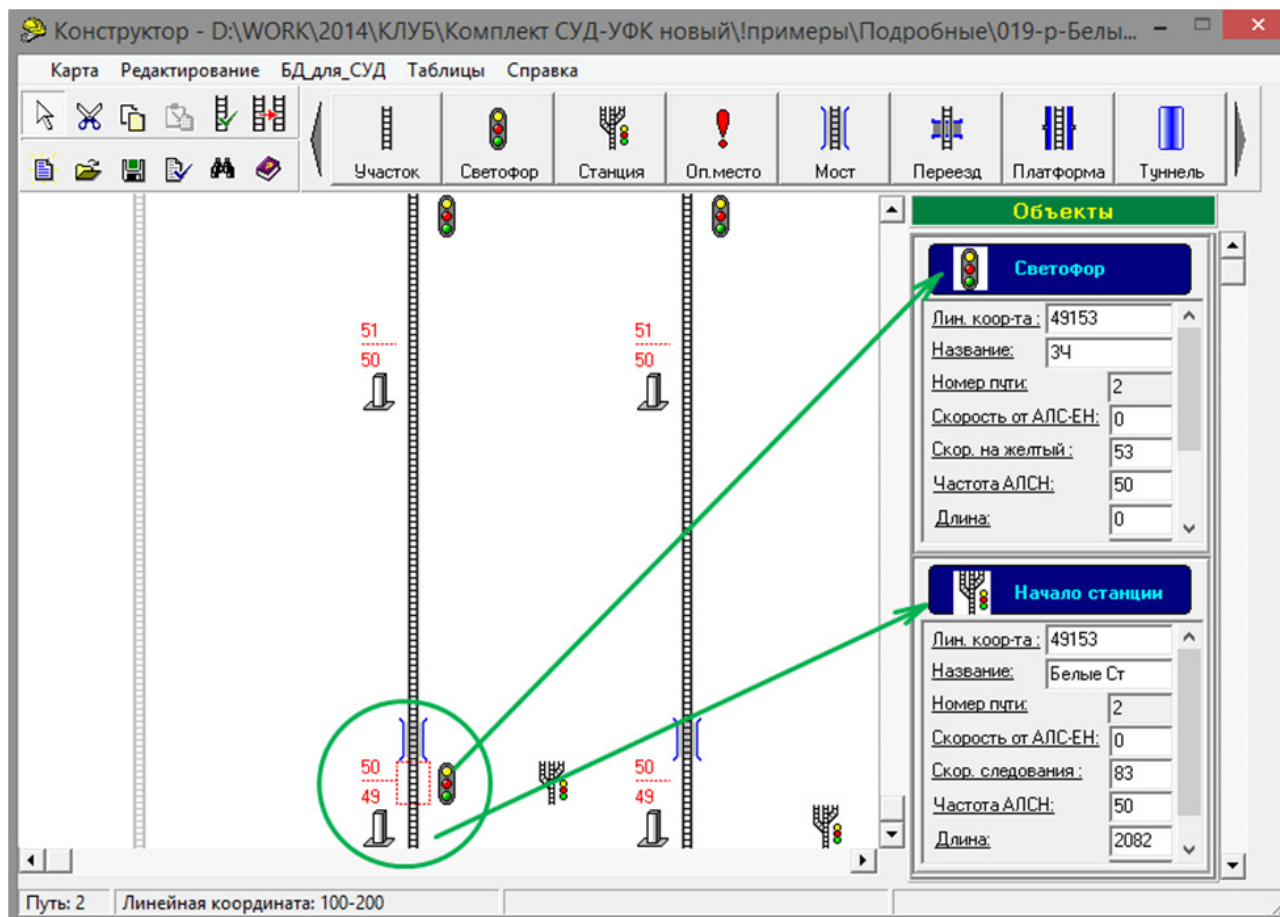


Рис. 2 Внешний вид программы подготовки макета ЭКПО

Процесс стандартной камеральной обработки (в рамках создания 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 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, необходимых для загрузки в ПО «Конструктор». Четыре объекта (датчик УКСПС (устройство контроля схода подвижного состава), датчик САУТ (си-

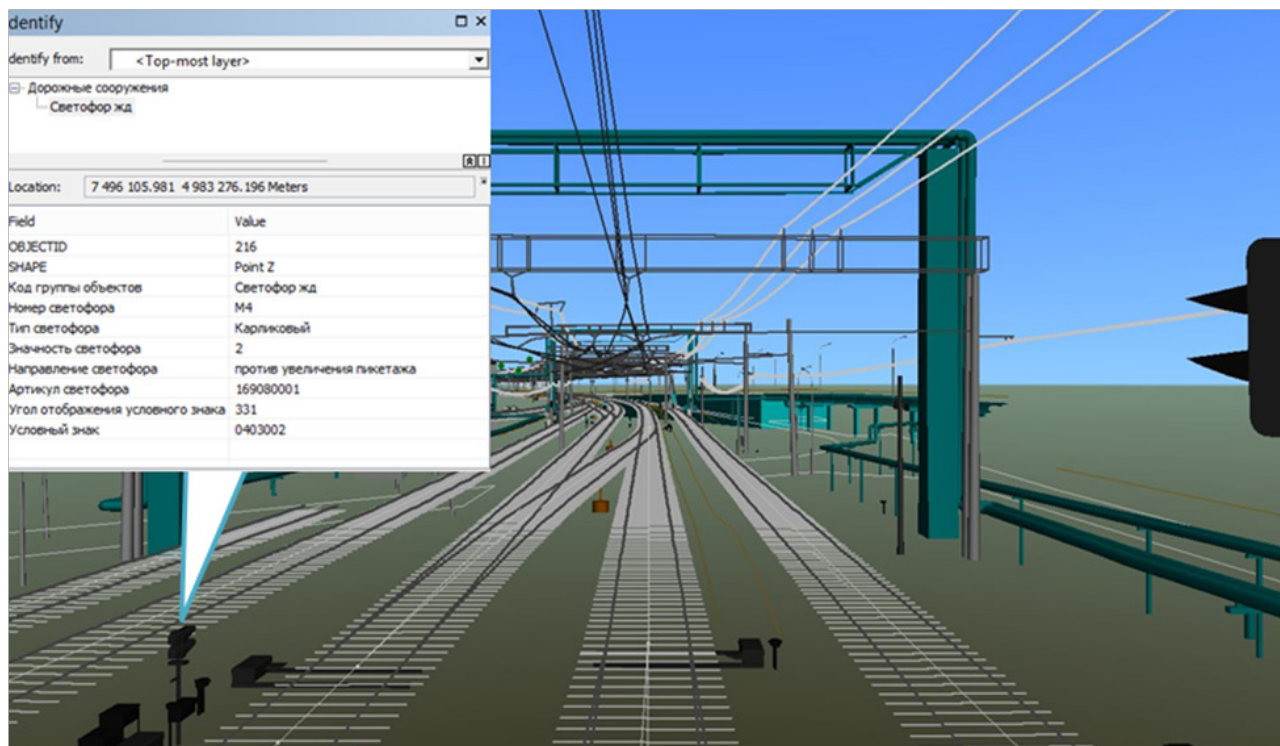


Рис. 3 Векторная модель инфраструктуры железнодорожного транспорта

стемы автоматического управления торможением), место проверки тормозов, опасное место) определяются с привлечением дополнительной информации.



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

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 решения 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

$$\begin{aligned} a &= 1 - k; \\ k &= 1 + \frac{H}{R_\infty + H} \left(1 + \frac{y_m^2}{2R_\infty^2} + \frac{\Delta y_1^2}{24R_\infty^2} \right); \\ b &= \frac{1}{24R_\infty^2} \times k; \\ c &= -\frac{h^2}{2}; \\ d &= -\frac{h^4}{8}; \\ e &= -D''; \\ f'(x_n) &= a + 3bx^2 - \frac{c}{x^2} - \frac{3d}{x^4}; \end{aligned}$$

a, b, c, d, e, k, m — 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 $\Delta y = y_1 - y_2$, $y_m = (y_1 + y_2)/2$

R_α — средний радиус кривизны эллипсоида в средней точке линии, для территории РФ всегда 6380000 м.

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

2 Заключение

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

Литература

- [1] Сапожников В. В., Елжин Б. Н., Кокурин И. М. и др. Станционные системы автоматики и телемеханики: учебник для вузов ж.-д. транспорта. Под ред. Сапожникова В. В. 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). Учебное пособие. Под ред Зорина В. И. и Астрахана В. А., Москва 2008, ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 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. N 44р 22 с.
- [5] Устройство УФК. Руководство по эксплуатации ЦВИЯ. 468157.028 РЭ ИРЗ 2007 г. 71 с.
- [6] *Вержбицкий В. М.* Основы численных методов. Учебник для вузов, Москва, «Директ-Медиа», 2013. 204 с.
- [7] *Закатов П. С.* Курс высшей геодезии. Москва: «Недра», 1976 г. 126 с.
- [8] *Федотов Г. А.* Инженерная геодезия. Учебник. М.: Высшая Школа, 2004 г.. 407 с.

Поступила в редакцию 28.05.2018

Formation of electronic maps for the safety of locomotive devices and traffic control systems for electric trains based on mobile laser scanning data*

S. K. Dulin, D. A. Yakushev

dulin@ccas.ru; D.Yakushev@gismps.ru

Research and design institute for information technology, signalling and telecommunications in railway transportation, 27 bldg 1 Nizhegorodskaya St., 109029, Moscow, Russia

The task of forming common electronic maps for various locomotive safety devices and controlling the movement of electric trains is extremely urgent, its implementation is designed to improve traffic safety. New possibilities of map formation are provided by the complex system of spatial data of the railway transport infrastructure (CSSD RTI), into which the coordinates of all technogenic objects are entered based on the results of processing mobile laser scanning data obtained in a high-precision coordinate system. As information, the points of reflection from all objects, measured with sub-centimeter accuracy and annotated with photographs, coordinated in three-dimensional space, make it possible to identify all the technogenic objects that are significant from the point of view of traffic safety in the railway transport.

Keywords: *a single electronic map of locomotive traffic safety devices; electronic map of the treatment polygon (EMTP); technogenic objects; complex spatial data system*

DOI: 10.21469/22233792.4.1.01

References

- [1] Sapozhnikov V. V., Elkin B. N., Kokurin I. M. *Stantsionnye sistemy avtomatiki i telemekhaniki: uchebnyy dlya vuzov zh.-d. transporta*[Station systems of automatics and telemechanics: a textbook for high schools of railway transport]. М.: Transport, 1997. 432 p. (In Russian)
- [2] *Blok elektroniki lokomotivnyy. Rukovodstvo po ekspluatatsii*[Locomotive electronics block. Manual.] 2007. 36991-10-00 Rukovodstvo po ekspluatatsii Izhevskiy Radiozavod, 112 p. (In Russian)
- [3] Zorin V. I., Astrakhan V. A. 2008. *Unifitsirovannoe kompleksnoe lokomotivnoe ustroystvo bezopasnosti (KLUB-U). Uchebnoe posobie*[Unified Integrated Locomotive Safety Device (ILSD-U). Tutorial]. Place of publication: Moscow, GOU "Uchebno-metodicheskiy tsentr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte 177 p. (In Russian)

*The research was supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant 17-20-02205).

-
- [4] *Instruktsiya o poryadke formirovaniya, vneseniya izmeneniy i vvoda v ekspluatatsiyu elektronnykh kart sistem KLUB-U, KLUB-UP, BLOK*[Instruction on the procedure for the formation, modification and commissioning of electronic maps of ILSD-U, ILSD-UP, SLJC]. The order of JSC "RZhD" dated January 15, 2014. 44, 22 p. (In Russian)
- [5] *Ustroystvo UFK. Rukovodstvo po ekspluatatsii TsVIYa*. 2007. 468157.028 Rukovodstvo po ekspluatatsii Izhevskiy Radiozavod, 71 p. (In Russian)
- [6] Verzhbitskiy V.M. 2013. *Osnovy chislennykh metodov*[Bases of numerical methods]. Textbook for high schools, Moscow, "Direkt-Media". 204 p. (In Russian)
- [7] Zakatov P.S. 1976. *Kurs vysshey geodezii*[Course of higher geodesy]. Moscow: Nedra, 126 p. (In Russian)
- [8] Fedotov G.A. 2004. *Inzhenernaya geodeziya. Uchebnik*[Textbook on engineering geodesy]. Moscow: Vysshaya shkola, 407 p. (In Russian)

Received May 28, 2018