

# Трехмерное моделирование технического состояния техногенных объектов железнодорожного транспорта с помощью ПО Bentley Systems\*

Д. А. Якушев

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

Отсутствие единой системы измерений и низкая точность проектной документации, устанавливающей требования только к минимальной величине габаритов и междупутий, а так же действующая система оценки состояния техногенных объектов инфраструктуры, определяющая только показатель бальности, никак не связанный с пространственным положением, не оставляет даже теоретической возможности реализовать проектные решения при строительстве и содержать инфраструктуру в проектном положении при эксплуатации. Изменить ситуацию предназначена технология информационного моделирования техногенных объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта в трехмерном координатном пространстве. К примеру, созданные в 2016 году трехмерные модели на участках МЦК позволили выявить серьезные расхождения построенного объекта с проектной документацией.

**Ключевые слова:** *техногенные объекты; комплексная система пространственных данных; цифровая железная дорога; трехмерная карта безопасности движения*

DOI: 10.21469/22233792.4.1.02

## 1 Введение

Основой технологии информационного моделирования техногенных объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта является высокоточная координатная система (ВКС), устанавливающая единое координатно-временное пространство, как общую систему отсчета, для всех этапов жизненного цикла объектов инфраструктуры и трехмерные модель, которые создаются как объекты реального мира, имеющие не «плоское» (карты и планы), а объемное изображение и характеристики, описывающие поведение и свойства объектов в реальном мире. Сложившаяся в настоящее время система не позволяет использовать проекты строительства и реконструкции пути для проектирования примыкающих объектов инфраструктуры (зданий, платформ, контактной сети); увязывать между собой проекты, располагаемые на значительном расстоянии. Все это приводит к постоянному ухудшению состояния пути, сдвига его с земляного полотна, закреплению «неправильного» положения пути смежными объектами, нарушениям ПТЭ.

Возможно, многим реализуемый в настоящее время проект по созданию высокоточной трехмерной модели инфраструктуры железнодорожного транспорта покажется бессмысленным, преждевременным или неоправданно затратным. Но, как ни удивительно, в пользу него говорит, например, тот факт, что примеру специалистов ОАО «РЖД» последовали их коллеги из SNCF (Франция), создающие трехмерный цифровой план железнодорожного пути и окружающей инфраструктуры по данным мобильного лазерного сканирования

\*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-20-02205 офи \_м\_ РЖД).

с помощью системы 3D Laser Mapping, адаптированной для съемки железных дорог. Следует отметить, что получение точной пространственной привязки в единой системе координат по результатам мобильного сканирования на железной дороге, включая данные инерциальной навигационной системы, не тривиальная задача. А режимные ограничения на использование государственной системы координат в РФ делают проект создания высокоточной трехмерной модели железнодорожного пути и прилегающей инфраструктуры на порядок сложнее, чем в странах Западной Европы.

Большинство проектов в России известно тем, что если что-то делается, то делается с размахом. Специалисты быстро набираются опыта на своих и чужих ошибках (в данном случае — по большей части на своих), изобретая при этом нестандартные решения, как правило, используя стандартное программное обеспечение (ПО), имеющее хороший потенциал в плане интеграции с собственными разработками.

Оставим в стороне все нюансы, связанные с процессом сбора данных и примем как данность тот факт, что:

- во-первых, оборудование не всегда удовлетворяет по точности желаемым показателям;
- во-вторых, повторные измерения (например, через год) будут однозначно отличаться от измерений, выполненных ранее;
- в-третьих, существуют проблемы с объединением (стыковкой) плоских прямоугольных координат на границе соседних зон и на стыке дорог разных направлений.

Основной конечной целью собранных таким образом данных является их интерпретация в виде цифровой модели пути с точностью, достаточной для проведения текущих ремонтных работ и возможной реконструкции. То есть на камеральную обработку возлагается почетная обязанность алгоритмически исправить то, что не удалось сделать с помощью дорогостоящего оборудования.

Согласно распоряжению [1], цифровая модель пути (ЦМП) и объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта представляет собой многослойную информационную структуру, содержащую геометрические параметры железнодорожного пути, а также геометрические параметры и характеристики объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта, определенные в единой высокоточной координатной системе (ВКС), а при ее отсутствии — в принятой системе координат. Кроме того, ЦМП является «твердой копией» пространства на текущий момент. Она может быть преобразована в документы, предписанные к использованию на железных дорогах, и в то же время является накапливаемой пространственной базой знаний об объектах инфраструктуры железнодорожного транспорта, которую можно использовать при проектировании, создании и эксплуатации железнодорожной сети на протяжении всего ее жизненного цикла.

Основой «физической» реализации ЦМП является трехмерная векторная модель, создаваемая по данным лазерного сканирования. Она включает цифровую модель оси пути, представляющую совокупность координат точек оси пути с дискретностью в 1 см в системе координат ВКС, а также цифровые модели сооружений и устройств: путевого хозяйства; энергоснабжения железных дорог; сигнализации, централизации и блокировки; информатизации и связи; станционного хозяйства.

С точки зрения систем автоматизированного проектирования это означает детальное трехмерное моделирование более 100 видов объектов, которые сведены в группы, согласно принятому классификатору пространственных данных ОАО «РЖД». В качестве примера в таблице 1 приведены объекты различного типа и их количество, имеющиеся на одном погонном километре тестового участка железнодорожного пути.

**Таблица 1** Статистика по объектам различного типа на одном погонном километре железнодорожного пути

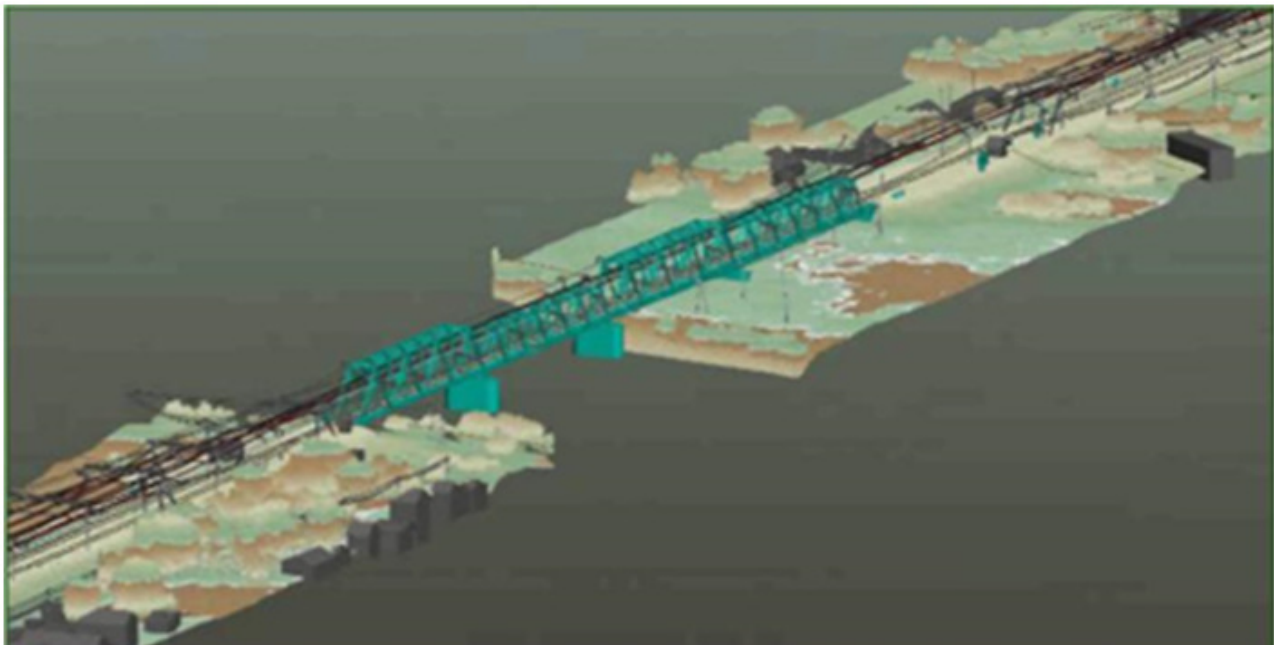
Код по классификатору	Название	Количество объектов
Class_geodesy	Путевые постоянные знаки	128.4
Class_hydro	Гидрография	1.0
Class_building	Населенный пункт, здания, сооружения	71.1
Class_facility	Железнодорожные сооружения	97.2
Class_rail	Верхнее строение пути и земляное полотно	166.8
Class_el	Линии электропередачи	400.1
Class_road	Дороги	4.9
Class_Communication	Устройства СЦБ	446.4
Class_border	Границы, ограждения	14.4
Class_isso	Искусственные сооружения	40.3
Class_rail_wire	Контактная сеть	1897.2
Class_veg	Растительность	42.9
Class_ground	Цифровая модель рельефа земли	1.0
POI	Точки на участках пути	69.6
Итого объектов на одном погонном километре железнодорожного пути		3391.1

К создаваемым трехмерным моделям предъявляются следующие требования. Средняя квадратичная погрешность плано-высотного положения отдельных элементов трехмерной модели не должна превышать: 1 см — в пределах земляного полотна и 5 см — за пределами земляного полотна.

Специфика ЦМП заключается в том, что создаваемые трехмерные модели имеют пространственную привязку в единой системе координат железной дороги ВКС и покрывают узкий коридор, протяженностью до 500 км. Поэтому выбор платформы для их создания, редактирования, представления заказчику, семантического описания являлся ключевым. Необходимо, чтобы среда разработки позволяла создавать трехмерные объекты, работать с сотней миллионов точек и при этом не имела задержек в отображении сложных solid-объектов. Перед началом работы над проектом было протестировано более десяти наиболее распространенных программных средств. Выбор был сделан в пользу графической платформы Bentley MicroStation с надстройкой, позволяющей работать с данными лазерного сканирования — Terrasolid. И это, несмотря на то, что естественной средой проектировщиков ОАО «РЖД» являлся AutoCAD, а база пространственных данных разработана на платформе Esri. На вопрос: «Почему сделан выбор в пользу Bentley MicroStation?» — объективного ответа, в общем-то, нет. Скорее это субъективное ощущение 3D дизайнера, которому необходимо за день выполнить моделирование трассы железнодорожного пути длиной 5 км. При этом важно все: скорость, с которой загружаются точки; как быстро они отображаются («ворочаются») вместе с моделью; возможность назначать команды по горячим клавишам; удобство панелей; возможность создания собственных утилит; удобство поиска нужной кнопки и т. д.

Большим плюсом MicroStation явилась возможность создания и масштабируемой визуализации с семантической информацией больших (в пространстве) трехмерных сцен с помощью надстройки i-Model. Бесплатный вьювер позволяет представлять созданные таким образом полноценные трехмерные сцены для ситуационного анализа без использования коммерческого программного обеспечения (рис. 1).

Понятно, что универсальных программных средств не бывает, и ПО компании Bentley Systems здесь не исключение. Инфраструктура железной дороги, как это ни парадоксаль-



**Рис. 1** Пример высокоточной векторной модели участка железнодорожного пути, реализованной на платформе Bentley MicroStation

но звучит, состоит сплошь из нетиповых объектов, процесс построения моделей которых нужно было попытаться автоматизировать.

Для унификации моделируемых объектов по конструкторским чертежам в среде MicroStation была создана библиотека типовых объектов железной дороги, насчитывающая более 400 объектов, а также конструктор, позволяющий создавать нетиповые элементы и утилиты для автоматического и полуавтоматического «вписывания» объектов в облако точек лазерного сканирования (рис. 2).

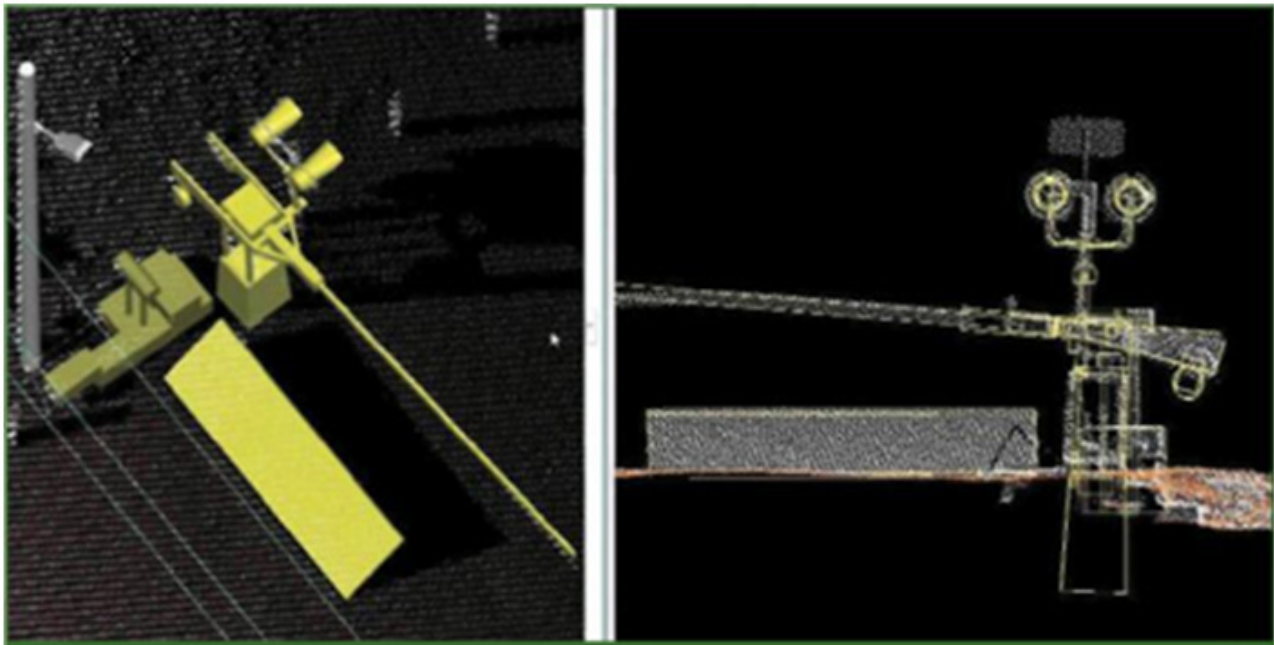
Другой ключевой момент был связан с автоматизацией создания векторной модели нитей железнодорожных рельсов и определения оси пути. Существует достаточно большое количество программ, позволяющих векторизовать такого типа объекты. Более того, в начале работ была приобретена лицензия на действительно лучшее ПО в этой области — программу SiRailScan, специально разработанную для этих целей в интересах администрации железных дорог Германии (DBahn). Но в итоге было решено разработать собственную технологию, учитывающую специфику нашей далеко не идеальной съемки, включающей:

- наличие случайных погрешностей входных данных;
- частоту вписывания шаблона рельса на прямых/кривых участках трассы и на съездах;
- сглаживание данных на подъездных путях и под вагонами, стоящими на путях, где недостаточно данных для качественной векторизации.

Все это реализовано на базе ПО MicroStation и Terrasolid.

Обоснование разработки собственных алгоритмов достаточно проста — любое ПО, работающее в автоматическом режиме, рассчитано на идеальные исходные данные, так редко встречающиеся в жизни. На стрелочных переводах или когда данные искажены, технологичнее вписывать шаблон рельса полуавтоматическим способом, чем исправлять ошибки автоматической векторизации.

Помимо этого, на основе ПО Bentley Systems был разработан целый комплекс утилит, значительно упрощающих формирование таких объектов, как шпалы, консоли и др.,



**Рис. 2** Пример элемента библиотеки - устройства железнодорожного переезда, вписанного в облако точек лазерного сканирования

вычисление оси пути, полуавтоматическое вписывание библиотечных элементов в облако точек лазерного сканирования, построение платформ и др. (рис. 3 и ??).

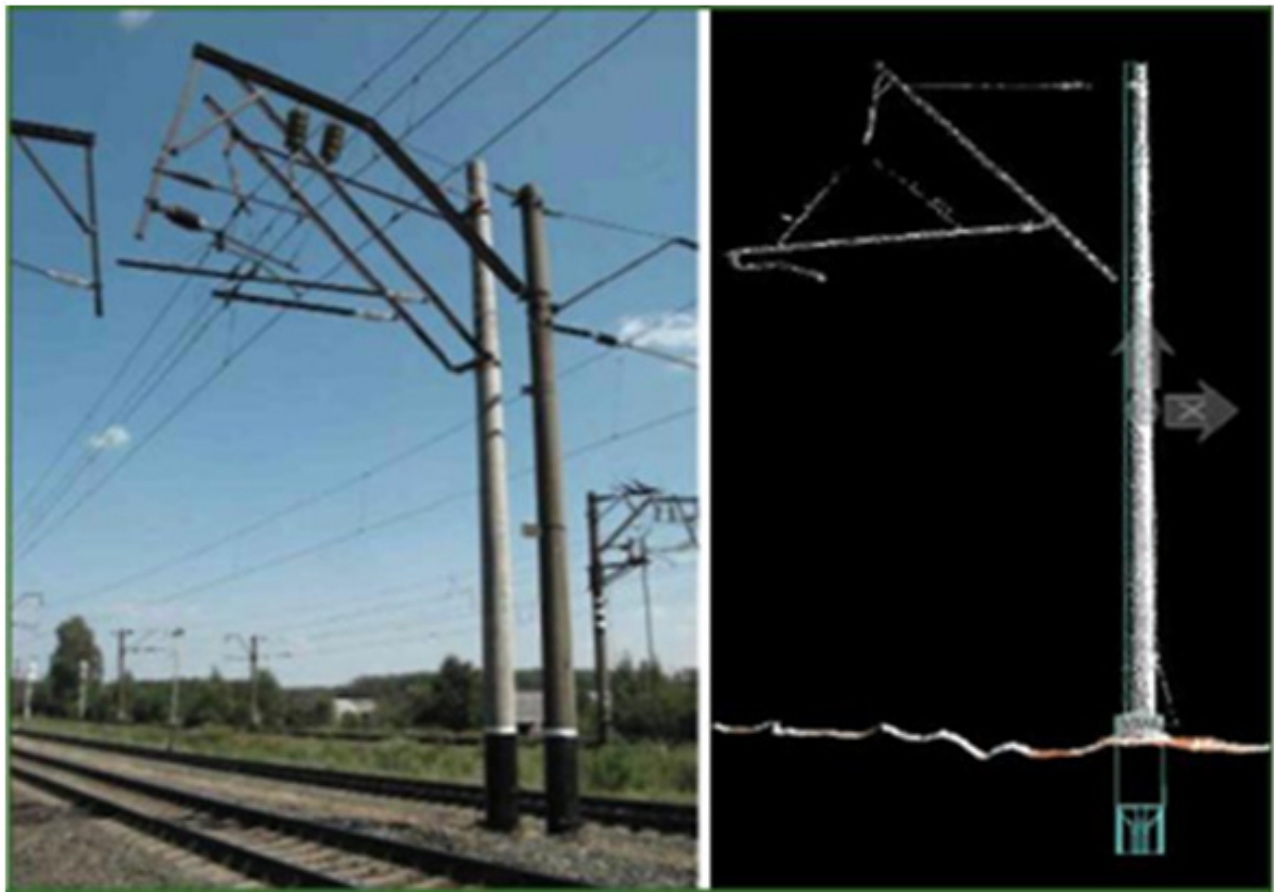
В дальнейших планах стоит задача разработки утилиты по формированию характерных линий балластной призмы и земляного полотна на основе уникальной методики [2], а также утилит автоматического сравнения результатов натуральных измерений, данных мобильного лазерного сканирования и трехмерной модели объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта.

Созданная на основе ПО компании Bentley Systems технология формирования трехмерных моделей инфраструктуры железнодорожного транспорта имеет ряд несомненных преимуществ:

- масштабируемость — объем входных данных из года в год увеличивается в геометрической прогрессии, что предъявляет более жесткие требования не столько к аппаратному обеспечению, сколько к среде информационного моделирования, позволяющей работать на «бюджетных» вычислительных комплексах;
- замкнутый производственный цикл — трехмерная модель создается в одном программном обеспечении, как за счет использования внутренних инструментов, так и за счет возможности подключать модули, разработанные компанией Terrasolid или собственными силами. Сюда также относится возможность экспорта модели в ГИС;
- простота представления действительно больших по объему и территориальному охвату результатов моделирования с помощью надстройки i-Model.

Цифровые модели железнодорожного пути можно использовать также для ситуационного анализа, проведения измерений, в качестве тренажера, максимально приближенного к реальным условиям, при оценке чрезвычайных ситуаций и т. п.

В качестве примера, демонстрирующего различное восприятие двухмерной (традиционной информации) и трехмерной модели, на рис. 4 приведен топографический план



**Рис. 3** Результат работы утилиты автоматического вписывания библиотечных элементов — опор контактной сети в облако точек лазерного сканирования

участка трассы железнодорожного пути и тот же участок трассы в виде трехмерной модели.

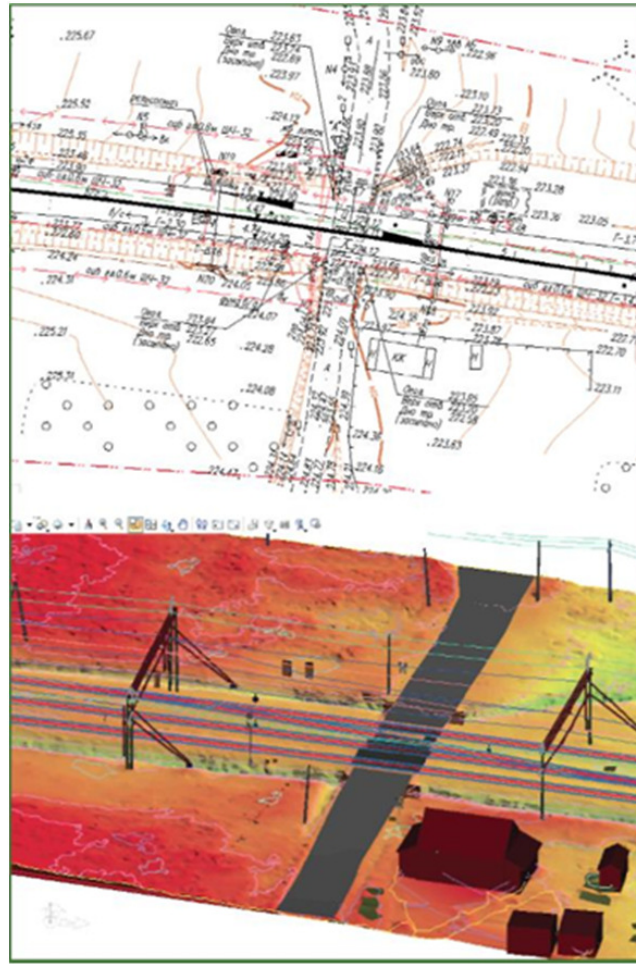
## 2 Заключение

В результате обработки данных по железным дорогам России, протяженностью более 10 тыс. км, ЗАО «Транспутьстрой» создало уникальную технологию формирования ЦМП с помощью программных средств компании Bentley Systems, основанную на библиотеке типовых элементов инфраструктуры железных дорог, включающей более 400 объектов. Разработанный конструктор позволяет создавать нетиповые элементы и утилиты для автоматического и полуавтоматического «вписывания» объектов в облако точек лазерного сканирования.

Внедрение проекта позволит осуществлять мониторинг железнодорожного пути и прилегающей инфраструктуры в течение всего срока их службы и проводить комплексное обновление объектов с учетом их пространственного положения.

## Литература

- [1] Технологическая инструкция по проведению инженерно-геодезических работ по созданию цифровых моделей пути и путевого развития железнодорожных станций. — Утверждена и введена в действие Распоряжением ОАО «РЖД» № 372р от 13.02.2015.



**Рис. 4** Графическое представление участка трассы железнодорожного пути: топографический план в масштабе 1:500 (вверху); цифровая трехмерная модель (внизу)

- [2] Броневич А. Г., Каркищенко А. Н., Уманский В. И., Якушев Д. А. Применение локального метода обнаружения краев изображений для восстановления профиля земляного полотна Проблемы управления, 2012. № 6. С. 56–62.

*Поступила в редакцию 28.05.2018*

## **Three-dimensional modeling of technical condition of technogenic objects of a railway transportation by means of software Bentley Systems\***

*D. A. Yakushev*

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 lack of a unified measurement system and the low accuracy of design documentation, which establishes requirements only for the minimum size and inter-positions, as well as the current

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

system of assessing the state of technogenic infrastructure facilities, which determines only the indicator of grossness, not related to the spatial position, does not leave even the theoretical possibility to implement design solutions during construction and to maintain infrastructure in the design position during operation. The technology of informational modeling of technogenic objects of the railway transport infrastructure in the three-dimensional coordinate space is intended to change the situation. For example, created in 2016, three-dimensional models in the MCC sites allowed to identify serious differences of the constructed object with project documentation. **Keywords:** *technogenic objects; complex spatial data system; digital railway; three-dimensional map of traffic safety*

**DOI:** 10.21469/22233792.4.1.02

## References

- [1] *Tekhnologicheskaya instruktsiya po provedeniyu inzhenerno-geodezicheskikh rabot po sozdaniyu tsifrovyykh modeley puti i putevogo razvitiya zheleznodorozhnykh stantsiy* [Technological instruction for engineering and geodetic work on the creation of digital path models and track development of railway stations]. — Approved and put into effect by the Order of JSC "RZD" 372 dated 13.02.2015.
- [2] Bronevich A. G., Karkishchenko A. N., Umanskiy V. I., Yakushev D. A. 2012. *Primenenie lokal'nogo metoda obnaruzheniya kraev izobrazheniy dlya vosstanovleniya profilya zemlyanogo polotna* [Using a local method for detecting the edges of images to restore the profile of the roadbed]. *Problemy upravleniya* [Management issues]. 6:56–62.

*Received May 28, 2018*