

ВЫСОКОТОЧНОЕ ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА С ПОМОЩЬЮ ПО BENTLEY SYSTEMS

Д.А. Якушев (АО «Транспутьстрой»)

В 1987 г. окончил факультет автоматики, телемеханики и электроники Московского электротехнического института связи (в настоящее время — Московский технический университет связи и информатики) по специальности «радиоинженер». После окончания института работал в Московском научно-исследовательском институте радиосвязи, а затем — во Всесоюзном институте механизации сельского хозяйства, в PIE Systems International, в ЗАО «Оптэн», в Network Mapping Ltd, в «АйТи Энерджи Сервис», ЗАО «ИнтехГеоТранс». С 2013 г. работает в АО «Транспутьстрой», в настоящее время — начальник отдела перспективного развития и нормирования.

Возможно, многим реализуемый в настоящее время проект по созданию высокоточной трехмерной модели инфраструктуры железнодорожного транспорта покажется бессмысленным, преждевременным или неоправданно затратным. Но как не удивительно, в пользу него говорит, например, тот факт, что коллеги из SNCF (Франция) также, начиная с 2013 г., создают трехмерный цифровой план железнодорожного пути и окружающей инфраструктуры по данным мобильного лазерного сканирования 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 при-

легающей 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 всем желаемым показателям;

— во-вторых, повторные измерения (например, через год) будут неоднозначно 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 всегда удается 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 копи-

Статистика по элементам объектов различного типа на одном эксплуатационном километре железнодорожного пути

Код по классификатору	Название	Количество элементов
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 элементов объектов на одном эксплуатационном километре железнодорожного пути		3391,1

ей» пространства на текущий момент. Она может быть преобразована в документы, предназначенные 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 м в системе координат ВКС, а также цифровые модели сооружений и устройств: путевого хозяйства; энергоснабжения железных дорог; сигнализации, централизации и блокировки; инфор-

матизации 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 приведены элементы объектов различного типа и их количество, имеющиеся на одном эксплуатационном километре тестового участка железнодорожного пути.

К создаваемым трехмерным моделям предъявляются следующие требования. Средняя квадратическая погрешность планово-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 желез-



Рис. 1

Пример высокоточной векторной модели участка железнодорожного пути, реализованной на платформе Bentley MicroStation

ной 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 являлся AutoCAD, а база пространственных данных разработана на платформе Esri. На вопрос о том, 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 семанти-

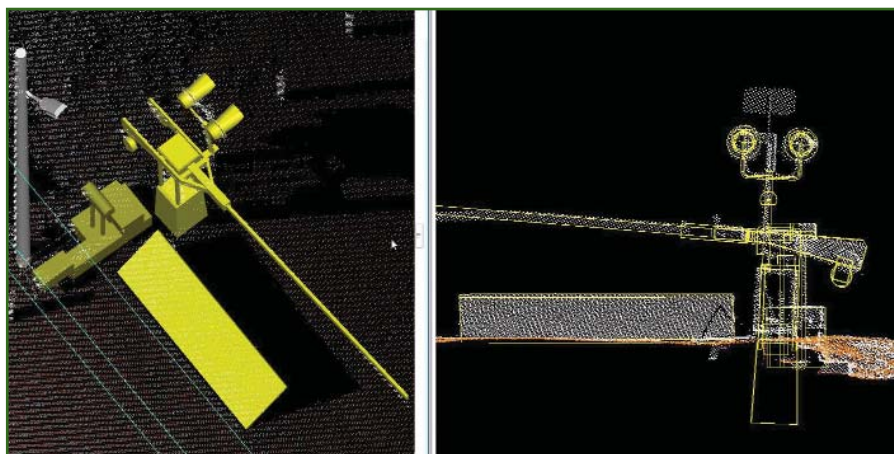


Рис. 2
Пример элемента библиотеки - устройства железнодорожного переезда, вписанного в облако точек лазерного сканирования

ческой 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 парадоксально 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

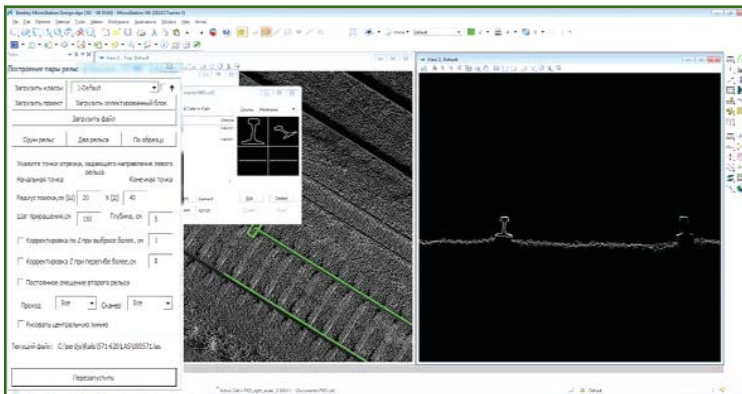


Рис. 3
Пример реализации алгоритма автоматической/ручной векторизации нитей рельсов в MicroStation

X	Y	Z	PointCount	Zmax	Zmean	d(Z-Zmax)	d(Z-Zmean)
401705,724	5972383,279	167,041	1	167,041	167,041	-0,000	0,000
401704,119	5972381,453	167,044	4	167,044	167,041	0,003	0,004
401702,533	5972379,561	167,049	4	167,049	167,046	0,003	0,005
401700,799	5972377,619	167,055	5	167,055	167,052	0,003	0,007
401699,218	5972375,732	167,07	4	167,07	167,067	0	0,003
401697,622	5972373,874	167,076	3	167,076	167,073	0,003	0,008
401695,98	5972372,007	167,086	4	167,086	167,082	0,004	0,008
401694,293	5972370,071	167,097	4	167,097	167,093	0,004	0,007
401692,697	5972368,225	167,111	4	167,111	167,104	0,007	0,005

Рис. 4
Пример автоматической проверки качества вписывания нити рельса в облако точек лазерного сканирования

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.

Причина 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 (рис. 3 и 4).

Помимо этого, на основе ПО Bentley Systems был разрабо-

тан целый комплекс утилит, значительно упрощающих формирование таких объектов, как шпалы, консоли и др., вычислительные оси пути, полуавтоматическое вписывание библиотечных элементов в облако точек лазерного сканирования, по-

строение платформ и др. (рис. 5 и 6).

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 натурных 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:

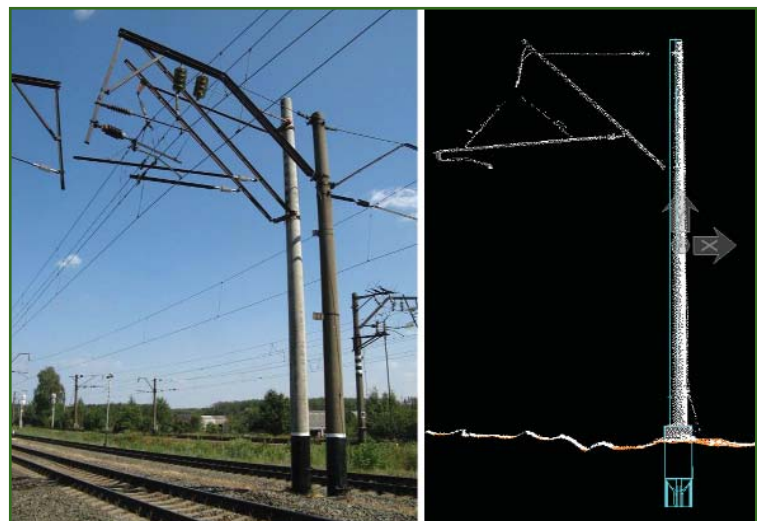


Рис. 5
Результат работы утилиты автоматического вписывания библиотечных элементов — опор контактной сети в облако точек лазерного сканирования

«Построение шпал»	
Выбор слоев	
Рельсы главных путей	0502000
Рельсы дополнительных путей	0503000
Оси путей	0501000
Слой шпал	0511000
Выравнивание	
Число проходов	1
Фактор	0,5
Критерий поворота	
Расстояние	20
Отклонение	0,045
Параметры шпал	
Длина шпалы	2,7
Выступание	0,5
Расположение шпал	
Возвышение рельсы	0,1
Шаг шпал	0,55
Шаг на поворотах	0,5
Стрелки	

Рис. 6
Меню утилиты автоматического построения шпал

— 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. 7 приведен топографический план участка трассы железнодорожного пути и тот же участок трассы в виде трехмерной модели.

В заключение следует отметить, что 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

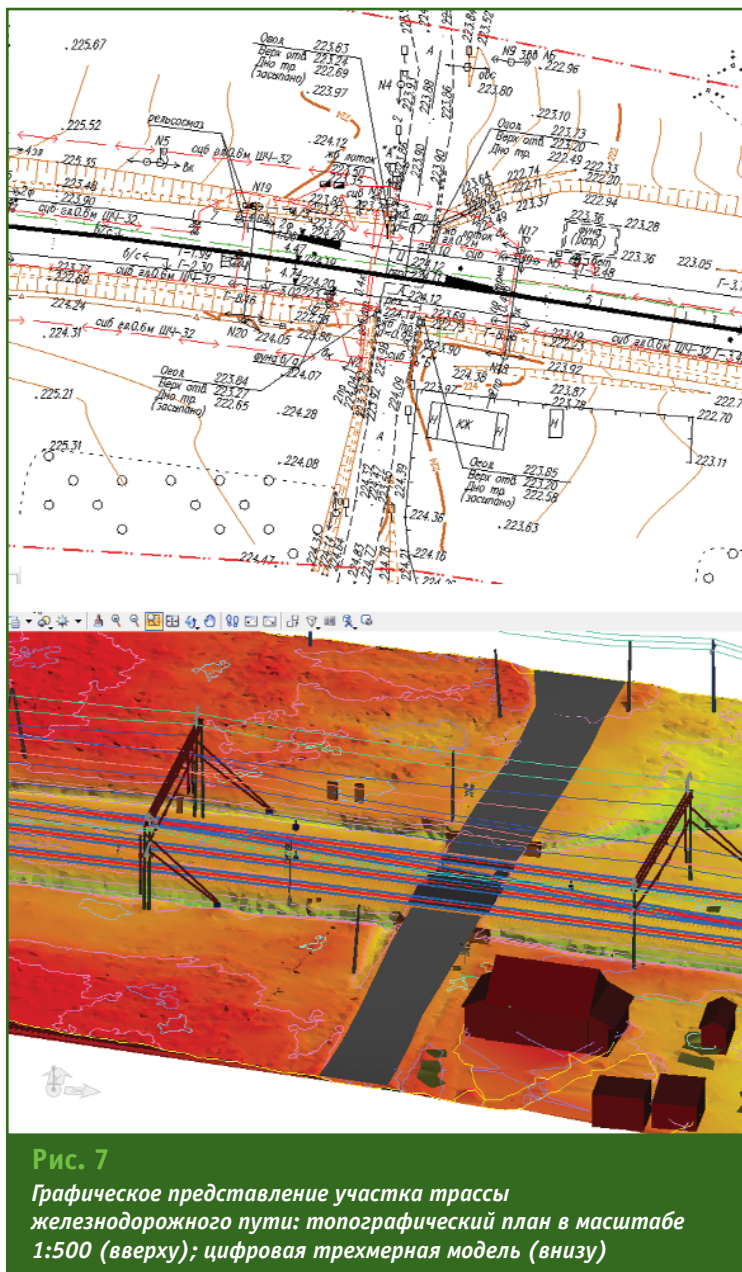


Рис. 7
Графическое представление участка трассы железнодорожного пути: топографический план в масштабе 1:500 (вверху); цифровая трехмерная модель (внизу)

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 обнов-

ление объектов с учетом их пространственного положения.

▼ Список литературы

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.
2. Броневиц 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.