

# РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМЫ TRIMBLE MX9 ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

## А.И. Шумаков («ТиГео»)

В 2006 г. окончил физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова по специальности «физик», специализация «оптика и спектроскопия». С 2005 г. работал в ООО «НПК Йена инструмент», с 2009 г. — в ООО «Транс Гидро проект», с 2013 г. — в ООО «Промсервис». С 2016 г. работает в ООО «ТиГео», в настоящее время — руководитель направления «3D сканирование и BIM».

## Н.В. Сангаджиев («Русгеоторг», Новосибирск)

В 2006 г. окончил Институт дистанционного зондирования и природопользования СГГА (в настоящее время — Сибирский государственный университет геосистем и технологий) по специальности «аэрофотогеодезия», а в 2007 г. — Институт геодезии и менеджмента СГГА по специальности «экономика и управление на предприятии». С 2006 г. работал в ООО «Навгеоком-Новосибирск», с 2007 г. — в ЗАО «Геостройизыскания» (Новосибирск), с 2013 г. — в ООО «Геонекс» (Новосибирск), с 2016 г. — в АО «Сибгипротранс» (Новосибирск). С 2018 г. работает в ООО «Русгеоторг», в настоящее время — технический директор.

Задачи по качественному и оперативному сбору значительных объемов пространственных данных в совокупности с семантической информацией в настоящее время достаточно остро стоят перед предприятиями, занимающимися контролем в дорожно-строительной отрасли.

С учетом увеличения объемов производственных работ, а также в рамках реализации государственной программы «Развитие транспортной системы», национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги», включающего федеральные проекты: «Дорожная сеть», «Общесистемные меры по развитию дорожного хозяйства», «Безопасность дорожного движения» и «Автомобильные дороги Минобороны России», проблема оптимизации ресурсных мощностей параллельно с повышением эффективности трудозатрат без потери качества привела к необходимости новых дискуссий.

Большое количество вопросов, а также возрастающий интерес к новым технологиям и возможностям их применения для контроля строительства, эксплуатационного содержания и паспортизации автомобильных дорог, стали обоснованием проведения полевой демонстрации мобильной системы лазерного сканирования Trimble MX9 для специалистов ГКУ НСО «Территориальное управление автомобильных дорог Новосибирской области».

Мероприятие, включающее полевые испытания и практический семинар, было организовано ООО «Русгеоторг» (Новосибирск) при поддержке технических экспертов ООО «Руснавгеосеть» и ООО «ТиГео» и прошло в Новосибирске 13–14 ноября 2019 г.

Условия проведения полевых испытаний системы Trimble MX9 максимально соответствовали реальным производственным условиям на территории

Сибири в зимний период, характеризующийся отрицательной температурой окружающей среды. Местом демонстрации был выбран участок строительства новой автомобильной дороги «Новосибирск — Кочки — Павлодар», протяженностью более 4 км.

Практический семинар проходил в Сибирском государственном университете геосистем и технологий (СГУГиТ) и включал презентацию системы Trimble MX9 и результатов полевых испытаний (рис. 1) с последующей демонстрацией ее работы на территории университета (рис. 2) и улицах Новосибирска.

Основными темами, интересовавшими участников полевых испытаний, являлись:

— работа системы при отрицательной температуре воздуха;

— особенности контроля геометрических параметров (поперечных и продольных уклонов, разметки и качества

покрытия дорожного полотна, местоположения дорожных знаков и др.) по облакам точек, получаемым в результате сканирования;

- использование данных сканирования автомобильных дорог и прилегающей инфраструктуры для задач инвентаризации и паспортизации объектов дорожного хозяйства;

- адаптация системы для геодезического обеспечения и контроля строительства автомобильных дорог;

- экономическая эффективность от внедрения системы по сравнению с традиционными геодезическими технологиями.

Ознакомиться с особенностями конструкции системы Trimble MX9 приглашенные спе-

циалисты, а также преподаватели и студенты университета могли на площадке перед главным входом в СГУГиТ. Кроме того, всем желающим была предоставлена уникальная возможность принять участие в тестовых проездах на автомобиле, оборудованном системой Trimble MX9, по заранее запланированному маршруту и увидеть процесс сканирования (съемки).

Во время проведения мероприятия температура окружающей среды опустилась ниже 0°C, что не соответствовало нормативам, установленным производителем для работы системы Trimble MX9 [1]. Ранее система испытывалась при температуре -10°C, но только в лаборатор-

ных условиях. При полевых испытаниях температура воздуха составляла от -7°C до -9°C. Дополнительно к этому проезды при сканировании сопровождался ледяным дождем и холодным порывистым ветром. Практическая демонстрация системы проходила уже при температуре воздуха от -13°C до -15°C.

Важно отметить, что даже при таких непростых погодных условиях система Trimble MX9 подтвердила заявленные характеристики как по эффективности работы в процессе съемки, так и по качеству полученных результатов.

Полевые испытания включали монтаж и подготовку системы Trimble MX9 к работе, съемку дорожного полотна и прилегающей инфраструктуры автомобильной дороги, камеральную обработку данных и анализ полученных результатов.

Измерения и обработку данных, полученных системой Trimble MX9 на участке автомобильной дороги «Новосибирск — Кочки — Павлодар», проводили сотрудники компании «Русгеоторг». На полевой демонстрации присутствовали представители Территориального управления автомобильных дорог Новосибирской области.

#### ▼ Монтаж и подготовка системы Trimble MX9 к работе

Система была доставлена самолетом из Москвы. Перед включением требовалось обеспечить оборудованию условия для акклиматизации в течение 24 часов при постоянной температуре и давлении воздуха, поскольку резкое изменение температуры могло привести к конденсации влаги внутри основных компонентов системы (блок датчиков, блок управления, блок питания).

Система Trimble MX9 может устанавливаться на различных



**Рис. 1**

Презентация системы Trimble MX9 в СГУГиТ



**Рис. 2**

Демонстрация работы системы Trimble MX9 на территории СГУГиТ



Рис. 3

Система Trimble MX9, смонтированная на автомобиле Volkswagen Caravelle

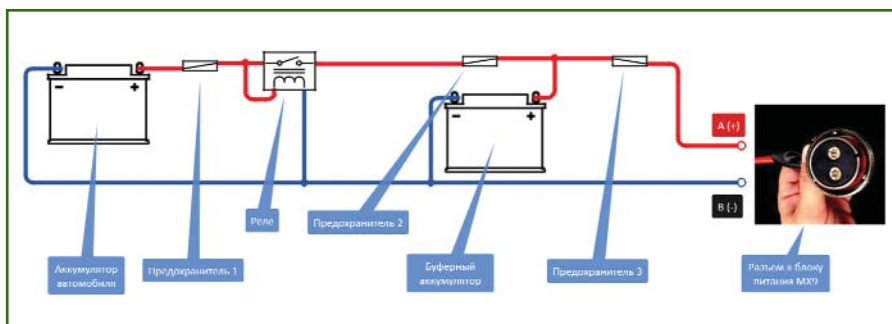


Рис. 4

Схема электропитания системы Trimble MX9

типах транспортных средств: автомобилях, подвижных составах железных дорог, квадроциклах и даже самоходных установках. В настоящее время в России имеется опыт работы с системами, которые монтировались на автомобилях и подвижных составах железных дорог.

Для полевых испытаний использовался автомобиль Volkswagen Caravelle (рис. 3). При выборе транспортного средства для работы с системой Trimble MX9 следует учитывать следующие критерии:

- высоту автомобиля, от которой зависит обзор сканируемого пространства;

- форму задней части кузова, которая может приводить к появлению «мертвой зоны» в облаке точек на сканах и фото-

изображениях, получаемых задней обзорной камерой;

- наличие рейлингов и поперечных креплений на крыше и возможность размещения системы максимально близко к заднему свесу автомобиля с целью исключения «мертвой зоны» в облаке точек на сканах.

Монтаж оборудования предельно прост, а для его выполнения достаточно двух специалистов. Проведение монтажных и демонтажных работ по возможности следует проводить в помещении, главное не забывать, что автомобиль со смонтированным сканером становится почти на метр выше.

Последовательность установки компонентов системы во всех случаях ее использования одинакова [2].

Электропитание системы возможно от бортовой сети автомобиля, с наличием резервного аккумулятора в цепи на случай, если основной аккумулятор разрядится, а также, если автомобиль оснащен системой «старт-стоп» (рис. 4).

При полевых испытаниях электропитание осуществлялось от автомобильного аккумулятора повышенной емкости, который был размещен в багажнике автомобиля, рядом с блоком питания системы Trimble MX9, то есть без подключения к бортовой сети автомобиля.

При постоянном проведении работ систему электропитания Trimble MX9 рекомендуется интегрировать в бортовую сеть автомобиля.

Блок управления размещался в салоне автомобиля между пассажирскими сиденьями.

Система Trimble MX9 оснащается инерциально-навигационной подсистемой Arplanix AP60 либо AP40, позволяющей осуществлять ежесекундный контроль пространственного положения системы в течение всего времени проведения съемки. Данные, получаемые при съемке (сканы лазерных измерений, являющиеся основой для формирования облаков точек, панорамные фотоизображения), имеют пространственную привязку к траектории движения автомобиля, которая определяется как инерциальной системой, так и спутниковым методом в автономном режиме.

Система Trimble MX9, участвовавшая в испытаниях, была оснащена инерциально-навигационной подсистемой Arplanix AP60. Для ускорения ее инициализации на крыше автомобиля была установлена и откалибрована дополнительная антенна ГНСС.

### ▼ Съемка дорожного полотна и прилегающей инфраструктуры автомобильной дороги

После монтажа на датчики лазерных сканеров были одеты защитные карбоновые колпаки, система Trimble MX9 включена для естественного подогрева с учетом температуры окружающей среды, и сотрудники компании «Русгеоторг» вместе с приглашенными специалистами выехали в район испытаний.

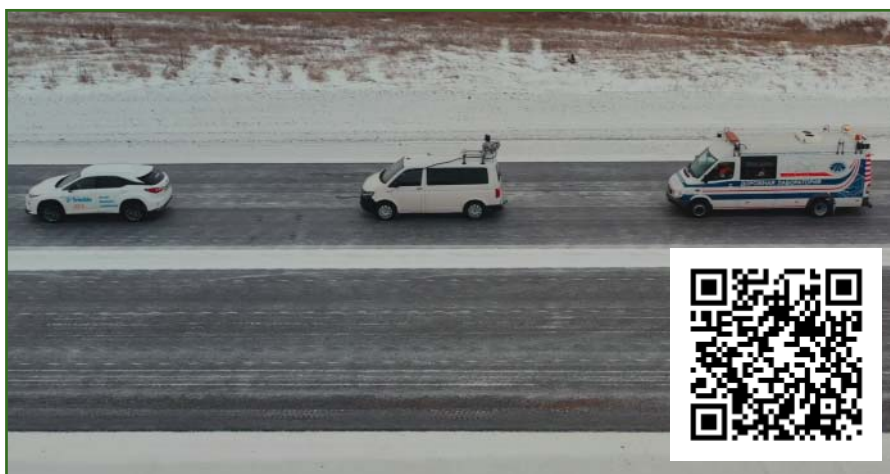
Общая последовательность измерений системой Trimble MX9 при съемке участка автомобильной дороги была следующей:

- включение системы и выбор настроек для съемки;
- запуск задания (миссии);
- первичная инициализация;
- проезд по тестовому участку, протяженностью 2,1 км, в двух направлениях (туда и обратно);
- финальная инициализация;
- завершение задания;
- выключение системы.

После первичной инициализации была выполнена съемка участка автомобильной дороги со средней скоростью 60 км/ч. Затем было проведено два дополнительных проезда и съемка при разных скоростных режимах (20 и 40 км/ч) с потенциальными заказчиками системы и приглашенными специалистами, проявившими интерес к технологии мобильного лазерного сканирования (рис. 5).

Пространственные данные, полученные системой Trimble MX9, сохранялись на двух съемных носителях SSD с интерфейсом USB3.0.

Следует отметить, что управление системой Trimble MX9 осуществляется с помощью встроенного программного обеспечения Trimble Mobile Imaging (TMI) с любого устройства через WiFi. Для этих целей



**Рис. 5**

Съемка участка автомобильной дороги «Новосибирск — Кочки — Павлодар» системой Trimble MX9

удобно использовать планшетный компьютер, так как сенсорное управление в полевых условиях предпочтительнее.

Процесс сбора данных в системе Trimble MX9 максимально автоматизирован. Программное обеспечение TMI отличается простым и понятным интерфейсом. При настройке параметров проведения съемки есть возможность указать используемые камеры, разрешение и количество измерений в заданный интервал времени. Это позволяет подобрать наилучший вариант плотности точек в облаке, исходя из требований к материалам съемки.

Полевые испытания завершились финальной инициализацией.

Сотрудники компании «Русгеоторг» на автомобиле с системой Trimble MX9 выехали в Новосибирск, где была выполнена съемка в окрестностях СГУГиТ.

### ▼ Камеральная обработка результатов измерений

Обработка данных осуществляется в три этапа:

- вычисление точной траектории движения автомобиля (движения системы);
- формирование облаков точек и их классификация;

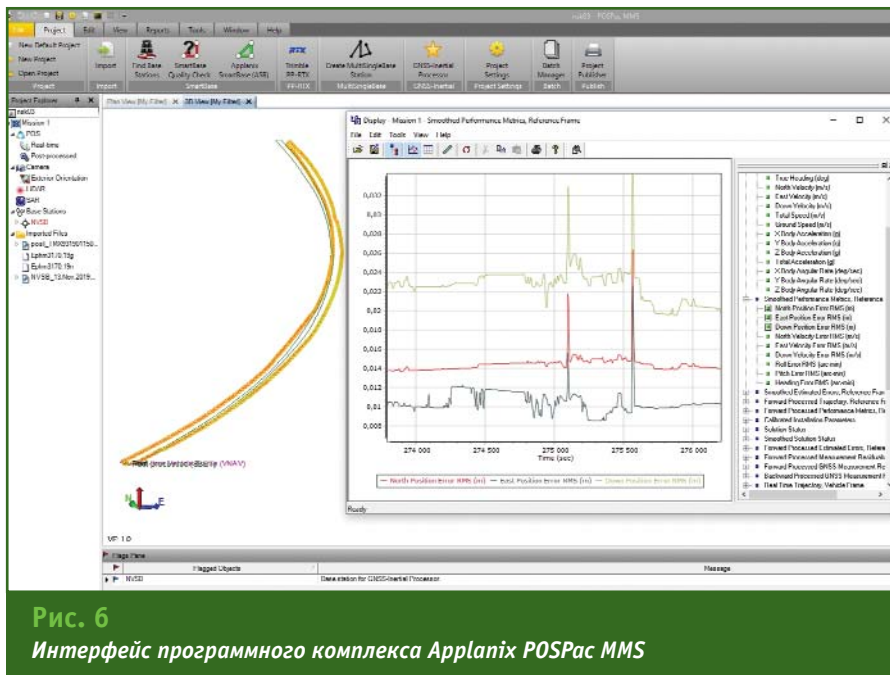
— создание реалистичной модели объекта съемки по облакам точек и фотопанорамным изображениям.

Исходя из поставленных задач, полученные на каждом из этапов результаты уже могут являться окончательными.

**Этап 1.** Вычисление точной траектории движения автомобиля выполнялось в программном комплексе (ПК) Applanix POSPac MMS (рис. 6), который используется для повышения качества определения координат траектории [3]. Этот программный комплекс позволяет повысить точность определения координат точек траектории за счет ввода в результаты измерений поправок, принимаемых от постоянно действующих базовых (референчных) станций ГНСС локальной сети в районе работ, или от станций Международной службы ГНСС (IGS). Список базовых станций задает оператор.

Для получения заявленной производителем точности рекомендуемая дальность референчных станций или станций IGS от траектории движения автомобиля не должна превышать 30 км, поэтому при отсутствии станций в непосредственной близости к объекту съемки может применяться сер-





**Рис. 6**  
Интерфейс программного комплекса Arplanix POSPac MMS

вис глобальной коррекции Trimble CenterPoint RTX. Очевидно, что уровень точности при использовании этого сервиса будет ниже, поэтому предпочтительнее использовать поправки, передаваемые с ближайших референчных станций.

При вычислении точных координат траектории движения автомобиля при испытаниях были использованы поправки от постоянно действующих базовых станций, расположенных в районе работ, что позволило выпол-

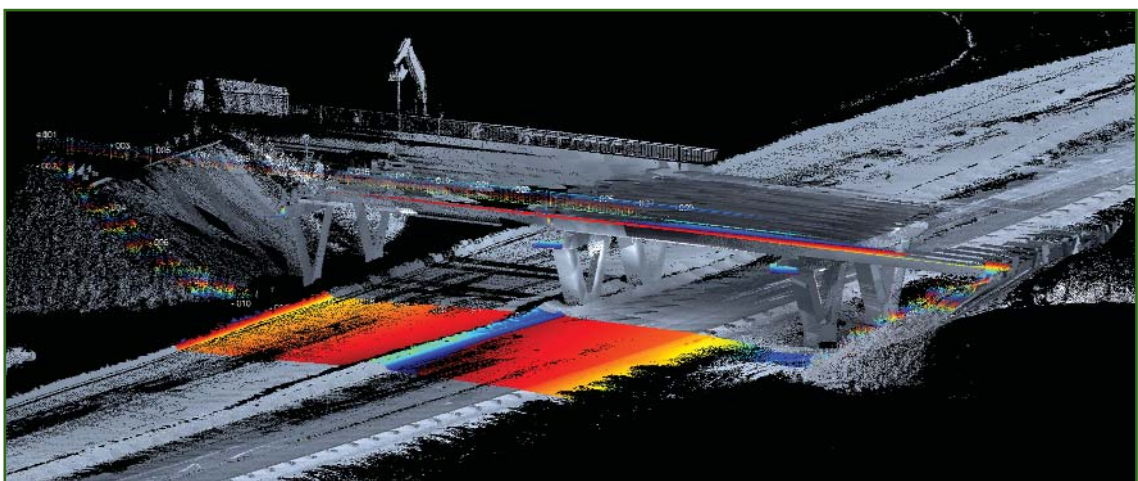
нить коррекцию траектории движения автомобиля в четырех проездах (по два в обе стороны) и достичь заявленных производителем показателей точности определения планово-высотного положения объектов в заданной системе координат в 2–3 см.

Для получения качественного облака точек в технических требованиях к системе Trimble MX9 установлена допустимая скорость движения автомобиля при съемке от 5 до 110 км/ч. Поскольку система предна-

значена для измерений не только с постоянной скоростью, но и в городской среде, где неизбежны внезапные остановки автомобиля в пробках и на светофорах, что вызывают срывы и дрейф инерциально-навигационной подсистемы. Поэтому в программном комплексе Arplanix POSPac MMS предусмотрена коррекция скорости движения по данным, получаемым при съемке с помощью одометра, который предварительно должен быть установлен на автомобиле.

При проведении испытаний измерения выполнялись непрерывно, поэтому установка одометра не требовалась.

**Этап 2.** Массивы пространственных данных, полученные системой Trimble MX9, обрабатывались в программном комплексе Trimble Business Center (TBC), который имеет специальный модуль — Mobile Mapping [4]. Набор включенных в него функций позволяет формировать облака и проводить классификацию точек (необходимый этап обработки измерений), а дополнительно отснятые в процессе движения фотопанорамы обеспечивают возможность колоризации точек в реалистичные тона и помогают



**Рис. 7**  
Фрагмент облака точек участка автомобильной дороги «Новосибирск — Кочки — Павлодар» в программном комплексе TBC

оператору распознавать объекты, если их определение по точкам затруднено (рис. 7).

Также в программном комплексе TBC доступна «сшивка» нескольких облаков по общим точкам, привязка облаков к контрольным точкам, полученным спутниковыми или другими методами и загруженным в общий проект, классификация точек облака по слоям. Имеется функция автоматической классификации точек по предустановленным слоям — поверхность земли (Ground), строения (Buildings), деревья и крупная растительность (High Vegetation), столбы и дорожные знаки (Poles and Signs), линии электропередачи и провода (Power Lines). Объемы полученных данных при съемке могут быть чрезвычайно велики, поэтому, если не требуется высокая детализация, точки в облаке можно проредить. Дополнительным инструментом является возможность автоматической регистрации таких объектов, как деревья, столбы и дорожные знаки по заданным пользователем параметрам. Программный комплекс позволяет в полуавтоматическом

режиме получить поперечные разрезы по заданной траектории, сформировать поверхность и другие операции для подготовки данных, необходимых при проектировании или оценки эксплуатационного состояния дорожного полотна.

В совокупности, все эти и многие другие функции TBC позволяют существенно сокращать время выполнения работ по классификации объектов, что в современных реалиях при условии значительного объема измеренных данных и информации о состоянии снимаемых объектов является единственно приемлемым методом камеральной обработки.

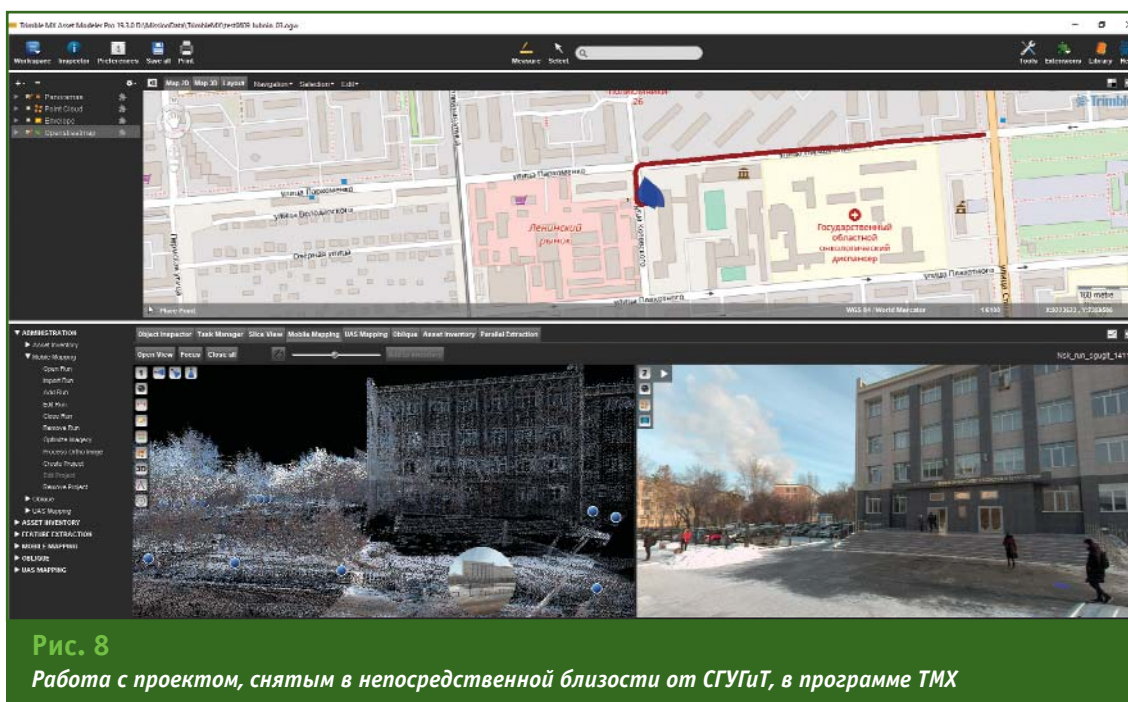
**Этап 3.** Программный комплекс TBC позволяет сохранять облака точек, полученные в результате сканирования, в нескольких распространенных форматах (E57, LAS и др.) и экспортировать их для дальнейшей обработки в других программах. Компания Trimble для обработки и систематизации таких данных предлагает многофункциональное средство — Trimble MX Office (TMX) [5].

Эта программа позволяет обрабатывать и оптимизиро-

вать, проверять двойные проходы или отсутствующие детали, прореживать облако точек, корректировать точность позиционирования, стирать движущиеся объекты, размывать лица, номерные знаки автомобилей и многое другое. С помощью TMX можно извлечь из набора данных любую интересующую информацию (рис. 8).

На основе комбинации данных сканеров и информации с панорамных цифровых камер были получены массивы пространственных данных о дорожном полотне и выявлены следующие элементы инфраструктуры, наиболее важные для контроля и паспортизации при эксплуатации автомобильных дорог:

- искусственные сооружения (местоположение, тип, протяженность и габариты мостов, путепроводов, эстакад, тоннелей; высота бордюров; размеры и состояние водопропускных труб);
- километровые знаки и сигнальные столбики;
- дорожные знаки (дислокация, взаимное расположение, состояние и соответствие нормам и правилам);



**Рис. 8**

Работа с проектом, снятым в непосредственной близости от СГУГиТ, в программе TMX

— разметка дорожного покрытия (состояние и соответствие нормам и правилам нанесения);

— ограждающие конструкции (местоположение, протяженность, состояние, соответствие нормам и правилам установки);

— освещение;

— примыкания, пересечения с автомобильными и железными дорогами (тип, местоположение, соответствие нормам проектирования);

— автобусные остановки и павильоны, площадки отдыха, стоянки автомобилей (основные параметры и соответствие нормативным требованиям);

— дополнительные полосы проезжей части и разгонные полосы (параметры и характеристики).

С помощью программы ТМХ пространственные данные были обработаны в полуавтоматическом режиме и сформированы JXML-файлы, которые в последующем легко интегрировать в распространенные ГИС.

По этим данным можно быстро и объективно проводить контроль геометрических параметров дорожного полотна, например, строить продольные и поперечные профили дороги с привязкой к местной системе координат. В отличие от использования дорожной лаборатории, когда измерение ширины проезжей части приходится выполнять вручную, останавливая транспортное средство, а привязка данных ведется только по пикетажу, с применением одометра.

Для дальнейшей обработки пространственных данных, полученных при испытаниях, применялась программа Trimble RealWorks (TRW), предназначенная для обработки и анализа облаков точек. Данные сканирования были экспортированы из ТВС в формате LAS в TRW, где в автоматическом режиме были

построены продольные и поперечные профили по оси дороги, которые необходимы специалистам по контролю за дорожной инфраструктурой в ежедневной работе.

#### ▼ Анализ полученных результатов

Результаты проведенных испытаний показали возможность использования мобильной системы лазерного сканирования Trimble MX9 в суровых климатических условиях отдельных регионов Российской Федерации, а именно при отрицательной температуре окружающей среды. Полученные данные подтвердили точностные характеристики системы, заявленные производителем [1], и продемонстрировали простоту и удобство ее применения.

В заключение следует отметить, что темпы современной жизни требуют поиска решений для быстрой реакции на изменения, происходящие на территориях и объектах, включая автомобильные дороги и прилегающую инфраструктуру. Одними из самых востребованных инструментов для обеспечения устойчивого развития территорий становятся не только цифровые двойники городов, но и цифровые модели дорожных, коммунальных, энергетических и других территориально распределенных объектов.

Система Trimble MX9, рассмотренная в данной статье, обладает такими свойствами и высоким потенциалом для широкого применения в автомобильно-дорожной отрасли. Она позволяет:

— получать достоверную и наглядную цифровую модель (цифрового двойника) всей автомобильной дороги и прилегающей инфраструктуры, а не отдельных участков, для контроля геометрических парамет-

ров и качества дорожного полотна, а также принятия решения о проведении ремонтных работ и реконструкции;

— проводить мониторинг состояния эксплуатационных характеристик дорожного полотна и элементов дорожной инфраструктуры, обеспечивающих безопасность движения транспортных средств (разметка дорожного полотна, наличие дорожных знаков и состояние обочины, прилегающей территории и многое др.).

Выражаем благодарность руководству Сибирского государственного университета геосистем и технологий и ГКУ НСО «Территориальное управление автомобильных дорог Новосибирской области» за возможность проведения испытаний и оказанную поддержку.

Стоит также отметить, что система Trimble MX9 доступна к заказу, демонстрациям и аренде. Предлагаем всем заинтересованным профессионалам в области технологий мобильного сканирования провести совместные испытания и убедиться в возможности применения системы Trimble MX9 для решения самого широкого круга задач.

#### ▼ Список литературы

1. Технические характеристики мобильной системы лазерного сканирования Trimble MX9. — <https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-mx9>.
2. Ерохин С.Н. Мобильная система лазерного сканирования премиум класса Trimble MX9 в России // Геопрофи. — 2019. — № 3. — С. 15–19.
3. Applanix POSPac MMS. — <https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/applanix-pospac-mms>.
4. Trimble Business Center. — <https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-business-center>.
5. Trimble MX Office. — <https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-mx-office-software>.