

Создание ГИС дорог на примере опыта компании «ИндорСофт» при создании ГИС дорог Томской области

DOI: 10.17273/CADGIS.2017.2.6

Блинов Д.С., руководитель проектов ООО «ИндорСофт» (г. Томск)

Подробно описывается процесс создания геоинформационной системы сети автомобильных дорог на примере ГИС дорог Томской области. Рассматриваются основные этапы создания ГИС, а также типы вводимых данных. Приводится описание способов сбора исходных данных, таких как лазерное сканирование, аэрофотосъёмка, панорамная видеосъёмка, особенности их реализации, а также обработки полученных данных.



Введение

В конце 2017 года завершились работы по второму этапу создания отраслевой ГИС автомобильных дорог Томской области на базе системы IndorRoad. Предыдущий этап был завершён в 2016 г. — тогда компанией «ИндорСофт» была сдана в эксплуатацию ГИС дорог шести южных районов области общей протяжённостью более 1600 км. В результате второго этапа к концу 2017 года в ГИС добавлена информация по дорогам ещё трёх районов области общей протяжённостью более 600 км (рис. 1). Созданная ГИС содержит актуальные сведения об автомобильных дорогах и объектах дорожной инфраструктуры в пределах придорожных полос обследованных дорог, полученные на основе данных панорамной видеосъёмки, мобильного лазерного сканирования, аэрофотосъёмки и других источников.

Все работы, выполняемые для создания ГИС, можно разделить на четыре этапа: подготовительный, полевое обследование, наполнение базы данных и внедрение ГИС. Первый этап заключается в составлении и уточнении требований к полноте и качеству данных в создаваемой ГИС, к составу выполняемых работ, а также к сбору имеющихся исходных данных. Второй этап заключается в выполнении работ по получению новых данных о дороге: аэрофотосъёмка, лазерное сканирование, запись видеорядов, а также по их обработке. Третий этап заключается в вводе полученных данных в ГИС. На четвёртом этапе наполненная ГИС внедряется на клиентских местах заказчика.

В данной статье описаны основные шаги и технологии, применяемые при создании ГИС автомобильных дорог на каждом из этапов.

Этап 1: Подготовительные работы

Сбор имеющихся у заказчика данных

Первым этапом создания ГИС, как и любой другой информационной системы, являлся сбор основных сведений о предметной области. Эти сведения затем послужили основой для планирования последующих этапов создания ГИС, а также стали источником информации по совокупности параметров автомобильных дорог, которую невозможно выявить в ходе полевого обследования. Исходные сведения были запрошены у заказчика в электронном либо бумажном виде, и включали в себя следующие виды документов:

- технические паспорта автомобильных дорог за предыдущие годы;
- сведения об участках полосы отвода автомобильных дорог, кадастровые паспорта, копии правоустанавливающих и правоудостоверяющих документов на земельные участки полосы отвода;
- паспорта и карточки искусственных сооружений на автомобильных дорогах;
- данные произведённых ранее диагностических мероприятий автомобильных дорог, в том числе дефектные ведомости, сведе-



Рис. 1. Охват дорог Томской области в ГИС

ния по дорожно-транспортным происшествиям и интенсивности движения;

- сведения о выполненных дорожных работах за последние пять лет;
- сведения об участках обслуживания и дорожных организациях, осуществляющих содержание, ремонт и строительство (реконструкцию) автомобильных дорог;
- имеющиеся проекты организации дорожного движения;
- прочие данные, связанные с автомобильными дорогами.

Определение и согласование местоположения начала и конца автомобильных дорог

Сведения о точном местоположении начала и конца автомобильных дорог напрямую определяют объём и границы полевых работ, а также выступают в качестве ключевых параметров в определении протяжённости осей автомобильных дорог и километровых отметок дорожных объектов. Для исключения разночтений схемы расположения начал и концов автомобильных дорог были согласованы с заказчиком и закреплены документально в виде схем и кроков на каждую автомобильную дорогу.

Планирование полевых работ

Следующим этапом выполняется планирование дальнейшего полевого обследования, заключающееся в изучении исходных материалов, со-

ставлении схем обследуемых дорог, программы проведения обследования и календарных графиков выполнения работ. Также на этом этапе были определены границ работ, составлены маршруты движения дорожных лабораторий, проведена проверка задействованного в работах оборудования.

Этап 2: Полевое обследование автомобильных дорог

Полевое обследование автомобильных дорог является ключевым источником информации для создания ГИС. Объём и состав полевых работ зависят от требований заказчика к объёму, роду и полноте информации, представленных в системе и закрепляется техническим заданием на создание ГИС. При создании ГИС дорог Томской области был выполнен типовой набор полевых работ, предлагаемый ООО «ИндорСофт» при создании ГИС автомобильных дорог:

- аэрофотосъёмка придорожной полосы с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА);
- мобильное лазерное сканирование полосы отвода;
- GNSS-координирование ключевых элементов дорожной инфраструктуры;
- запись панорамных видеорядов вдоль осей автомобильных дорог;

Такой набор полевых работ позволяет собрать необходимый и достаточный набор информации для создания ГИС, пригодной для целей паспортиза-

ции и управления содержанием автомобильных дорог. Большинство работ осуществляется автоматизированными комплексами, сокращающими время выполнения работ, и исключающими помехи дорожному движению во время выполнения изысканий.

Планово-высотное обоснование

Для всех изысканий в ходе создания ГИС используются единая система координат, определяемая техническим заданием. При создании ГИС дорог Томской области целевой системой координат являлась система координат WGS-84. Для точного позиционирования на местности используется спутниковое геодезическое оборудование на основе сигналов спутниковых сетей GPS и ГЛОНАСС (совместно именуется как «GNSS»).

Планово-высотные измерения при таких изысканиях выполняются геодезическими спутниковыми приёмниками в дифференциальном режиме. Дифференциальный режим реализуется с помощью контрольного спутникового приёмника, называемого базовой станцией. Базовая станция устанавливается в точке с известными пространственными координатами. Сравнивая известные координаты (полученные в результате прецизионной геодезической съёмки) с измеренными координатами, базовый приёмник формирует поправки, которые затем применяются к результатам измерений рабочего приёмника (ровера) (рис. 2).

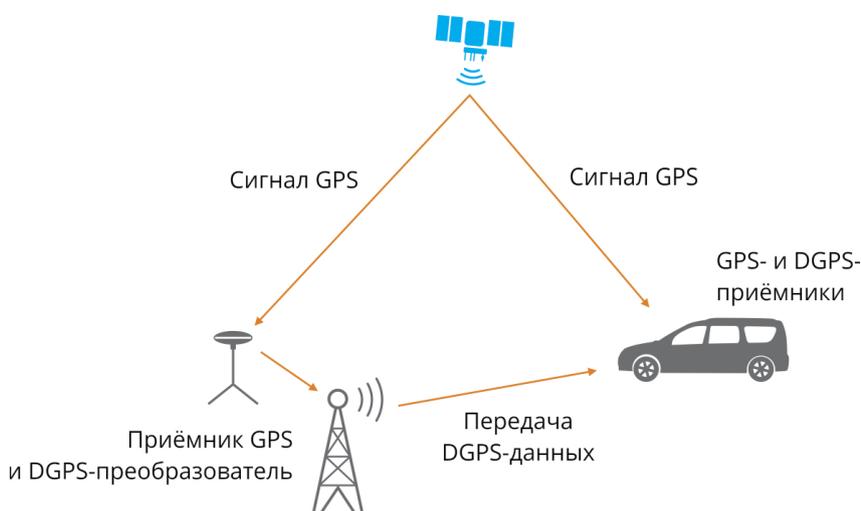


Рис. 2. Выполнение планово-высотных измерений в дифференциальном режиме



Рис. 3. Временная базовая станция

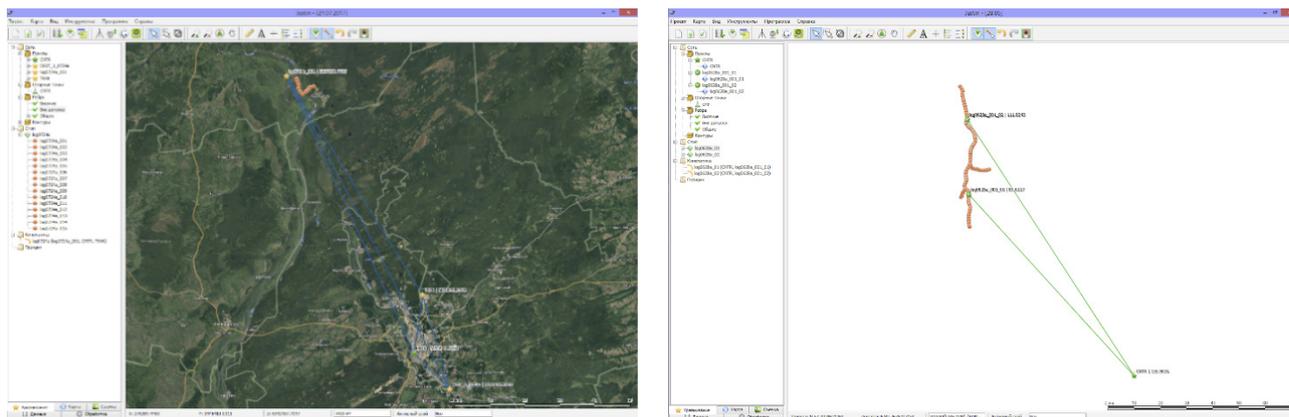


Рис. 4. Обработка спутниковых измерений в Justin

...была выполнена аэрофотосъёмка с использованием БПЛА. Данный метод отличается высокой степенью автоматизации процесса съёмки и последующей камеральной обработки, относительно низкой стоимостью, высокой скоростью получения результатов.

Данная технология позволяет достичь сантиметровой точности измерения пространственных координат, однако достоверность измерений зависит от расстояния между ровером и базовой станцией и методики производимых измерений.

Так, для метода статических измерений (когда ровер производит измерения на одной точке в течение продолжительного промежутка времени) требования к удалённости от базы гораздо ниже, чем при методе кинематических измерений (когда ровер находится в движении и производит непрерывное координирование всей траектории движения), а результирующая точность — выше.

В процессе создания ГИС дорог Томской области основным методом спутниковых измерений служил кинематический, так как именно он позволяет определять местоположение движущихся мобильных дорожных лабораторий, применяемых в полевых изысканиях.

В качестве опорных базовых станций с заранее известными координатами были выбраны постояннодействующие станции сети TomskNet. Данная сеть включает в себя три базовые GNSS-станции, расположенные в пределах г. Томска. Удалённость большинства участков работ от г. Томска не позволяла работать

напрямую с базовыми станциями TomskNet в пределах заявленной погрешности измерений в кинематическом режиме. Это привело к необходимости установки собственных временных базовых станций таким образом, чтобы для каждого участка измерений имелись как минимум две временные базовые станции на расстоянии не более 15 км (рис. 3).

Координаты временных базовых станций были получены путём многочасовых статических измерений с использованием поправок сети TomskNet, а приёмники дорожных лабораторий, в свою очередь использовали показания временных базовых станций.

Непосредственное вычисление точных координат производилось в камеральных условиях по окончании процесса выполнения измерений. Обработка выполнялась с использованием программ Javad Justin и Novatel GrafNav. Данное ПО позволяет, кроме непосредственно вычисления точных координат ровера, произвести уравнение сети временных базовых станций для повышения достоверности результатов (рис. 4).

Аэрофотосъёмка с использованием БПЛА

Основой визуального представления дорожных данных в ГИС является

цифровой план местности в масштабе от 1:2000 в пределах придорожной полосы. Создание такого плана возможно различными геодезическими и картографическими методами, однако одним из наиболее эффективных по скорости исполнения и достаточным по точности измерений является метод камеральной оцифровки ортофотоплана местности.

Ортофотоплан — это геодезически точный фотографический план местности, полученный методом аэрофотосъёмки или космической съёмки.

В процессе создания ГИС дорог Томской области была выполнена аэрофотосъёмка с использованием БПЛА. Данный метод отличается высокой степенью автоматизации процесса съёмки и последующей камеральной обработки, относительно низкой стоимостью, высокой скоростью получения результатов. При этом качество и абсолютная точность получаемого ортофотоплана, хоть и уступают традиционным методам аэрофотосъёмки, являются достаточными для создания планов местности требуемого масштаба.

Технологически подготовка ортофотопланов выполнялось в несколько этапов: планирование работ, планово-высотная привязка, аэрофотосъёмка и обработка полученных данных.

ПЛАНИРОВАНИЕ РАБОТ

При планировании аэрофотосъёмки были определены и нанесены на электронную карту границы участков местности, подлежащих съёмке, осуществлено планирование маршрута полёта БПЛА.

Затем был произведён пространственный анализ расположения в зоне

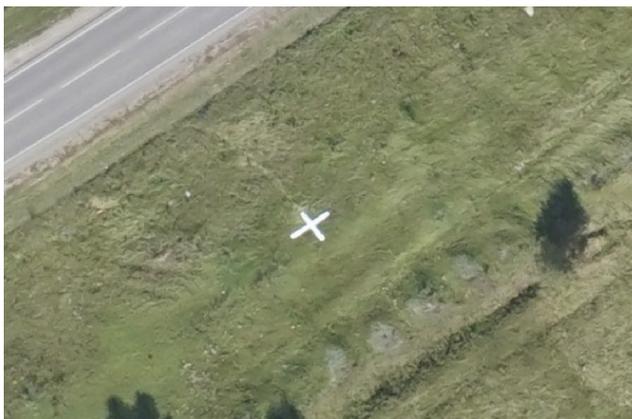


Рис. 5. Закреплённый на местности опознак

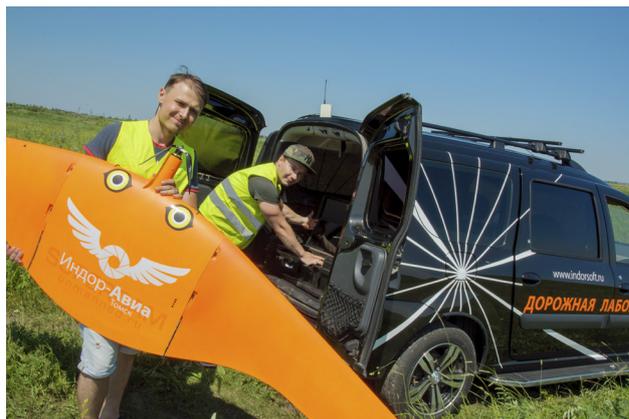


Рис. 6. Пилоты «ИндорСофт» при подготовке к полёту

полёта запретных и опасных зон, маршрутов воздушных трасс, аэродромов и вертодромов, приграничных зон. При пересечении планируемого маршрута БПЛА с зонами ограничения полётов выполнялось согласование авиационных работ со службами, наложившими соответствующие ограничения. Также было произведено согласование полётов с главами всех муниципальных образований, над землями которых планировалось производить полёты.

Планирование даты и времени полётов осуществлялось согласно прогнозируемым погодным условиям, при этом учитывались скорость ветра у земли и на высоте полёта, наличие осадков и тип облачности, высота солнца над горизонтом.

На основании составленных планов полётное расписание было согласовано с ответственными органами обслуживания воздушного движения. Дополнительно в день полётов было необходимо докладывать во все органы управления воздушным движением о начале и завершении работ.

Далее были сформированы полевые бригады, проинструктированные по технике безопасности и оснащённые автотранспортными средствами, необходимым оборудованием, а также спецодеждой и снаряжением для безопасного проведения работ в пределах придорожной полосы автомобильной дороги.

ПЛАНОВО-ВЫСОТНАЯ ПРИВЯЗКА

Планово-высотная привязка ортофотоплана на местности может осуществляться одним из двух либо

одновременно двумя методами в зависимости от требуемой точности:

- на основе координат центров фототрафирования (КЦФ) снимков;
- на основе опознавания на снимках легкочитаемых точек местности с известными координатами — опознаков.

В ходе создания ГИС дорог Томской области для повышения точности привязки ортофотоплана были применены одновременно обе методики. КЦФ определялись бортовым спутниковым геодезическим оборудованием БПЛА автоматически с использованием данных временных базовых станций, установленных в зонах проведения работ. Непосредственно перед выполнением полётов на местности были закреплены планово-высотные опознаки в виде крестообразных белых меток достаточного размера для опознавания с заданной высоты полёта БПЛА (рис. 5). Координирование опознаков производилось методом статических спутниковых измерений относительно временных базовых станций.

ПОЛЕВОЙ ЭТАП РАБОТ

Для выполнения авиационных работ при создании ГИС дорог Томской области был использован БПЛА самолётного типа Supercam S-350 производства ООО «Беспилотные системы», г. Ижевск.

Данный аппарат позволяет выполнять аэрофотосъёмочные работы в различных погодных условиях в автоматическом режиме и обладает следующими характеристиками:

- время полёта — 4 ч;
- скорость полёта — 65–120 км/ч;

- максимальная дальность полёта — не менее 360 км;
- масса летательного аппарата (взлётный вес) с ПН — 9,5–10,5 кг;
- размах крыла летательного аппарата — 3,5 м;
- рабочая высота полёта — 50–500 м.
- практический потолок — не менее 3600 м;
- время развёртывания комплекса — 10 мин;
- режимы полёта — полёт в автоматическом или полуавтоматическом режимах.

Авиационные работы осуществлялись полевой бригадой из трёх человек: основной оператор БПЛА (он же руководитель бригады), выпускающий оператор, водитель транспортного средства (рис. 6). Перед выездом на место съёмки руководитель полевой бригады составлял полётное задание для БПЛА в электронном виде, в котором отражались сведения о маршруте съёмки, высоте, крейсерской скорости и других параметрах планируемого полёта.

Непосредственно полевые работы начинаются с развёртывания оборудования на местности. После прибытия на место старта БПЛА полевая бригада устанавливает спутниковое геодезическое оборудование, систему управления, стартовую катапульту, антенный модуль связи. Затем производится сборка и предполётные проверки БПЛА и определяется направление ветра — для увеличения подъёмной силы запуск БПЛА осуществляется против ветра.

Далее производится старт БПЛА с катапульты и выполняется



Рис. 7. Запуск БПЛА с катапульты

непосредственно полёт с производением аэрофотосъёмки (рис. 7). Весь полёт контролируется оператором БПЛА, который следит за всеми показаниями приборов и в случае необходимости принимает решения, обеспечивающие как выполнение задачи, так и сохранность БПЛА.

Непосредственно аэрофотосъёмка дорог осуществлялась многомаршрутным методом, при котором БПЛА делает несколько пролётов вдоль оси автомобильной дороги, каждый из которых смещён относительно другого на заранее заданное расстояние. Это позволяет покрыть фотоснимками всю придорожную полосу дороги без снижения разрешения съёмки и увеличить точность плано-высотной привязки на границах фотоснимков. При создании ГИС дорог Томской области аэрофотосъёмка выполнялась в три маршрута для каждой дороги.

Детализация ортофотоплана определяется его пространственным разрешением — ли-



Рис. 8. Обработка результатов аэрофотосъёмки в Agisoft Photoscan

нейным размером участка местности, проектируемого на каждый пиксел электронного фотоплана. Разрешение ортофотоплана зависит от высоты полёта БПЛА и разрешения используемой фотоаппаратуры. Так, при создании ГИС дорог Томской области, исходя из требования к разрешению ортофотоплана 10 см на пиксел, максимально допустимая высота полёта БПЛА составляла 600 м над уровнем земли. В работе был использован 24-мегапиксельный фотоаппарат производства Sony.

Важными характеристиками плановой аэрофотосъёмки являются величины продольного и поперечного перекрытия соседних аэрофотоснимков. Данные величины, выраженные в процентах, обозначают относительное количество общих сведений (участков местности), присутствующих одновременно на двух соседних снимках. Продольное перекрытие рассчитывается для соседних снимков в пределах одного маршрута, поперечное — между снимками соседних маршрутов. В процессе полёта фотоаппаратура БПЛА осуществляла фотографирование местности с таким расчётом, чтобы обеспечить продольное перекрытие снимков не менее 80%, поперечное — не менее 40%.

В каждый момент срабатывания затвора фотоаппарата бортовое оборудование БПЛА фиксировало точное местоположение БПЛА в пространстве. Местоположение вычислялось путём GNSS-позиционирования с использованием временных базовых станций, установленных в районе проведения работ. Таким образом, зона полёта ограничивалась удалением БПЛА от временной базовой станции на расстояние не более 25 км.

По окончании выполнения полётного задания БПЛА осуществлял возврат к точке старта и автоматическую посадку с использованием бортового посадочного парашюта.

По окончании каждого дня авиационных работ выполнялась процедура полевого контроля. Данные аэрофотосъёмки переносились на полевую рабочую станцию, с помощью которой производился контрольный просмотр фотоснимков, оценка их качества и первичная камеральная обработка. После выполнения такого контроля принималось решение о первичной приёмке результатов полевых работ, в случае отбраковки производилась повторная аэрофотосъёмка.

СОЗДАНИЕ ОРТОФОТОПЛАНА

Непосредственно создание ортофотоплана производилось в полуавтоматическом режиме с использованием программы Agisoft Photoscan (рис. 8).

На первом этапе выполнена отбраковка фотоснимков по качественным критериям, таким как: точность экспозиции, резкость, правильная фокусировка, отсутствие облачной завесы.



Рис. 9. Цифровая модель рельефа, построенная по плотному облаку точек

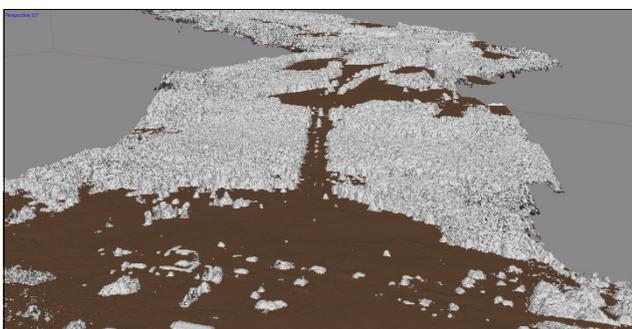


Рис. 10. Классифицированное облако точек

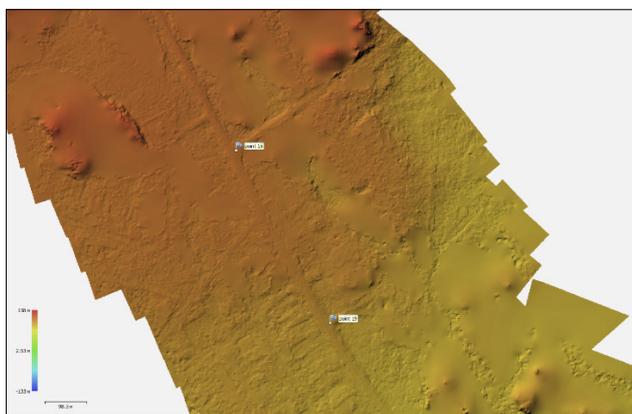


Рис. 11. ЦМР в виде карты высот

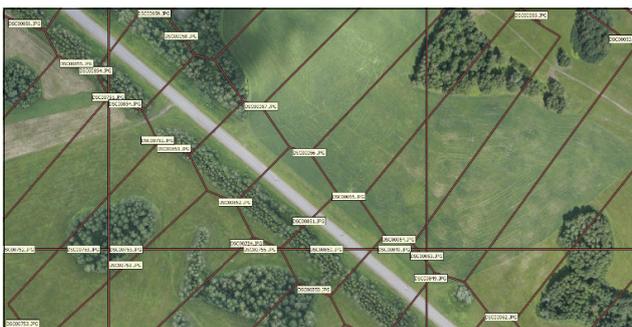


Рис. 12. Линии реза

Далее производилась увязка снимков с КЦФ (широта, долгота, высота), полученными бортовым оборудованием БГЛА в момент фотографирования.

Затем в соответствии с КЦФ фотоснимки наносились на единую трёхмерную электронную карту. С использованием алгоритмов машинного зрения определялись общие точки между каждой парой снимков и производилось взаимное пространственное ориентирование аэрофотоснимков между собой с вычислением углов ориентирования каждого снимка. При этом производилось уточнение КЦФ. На данном этапе была произведена отбраковка снимков с критическими углами ориентирования либо низкой точностью определения координат [1].

После этого была осуществлена привязка фотоснимков к наземному плано-высотному обоснованию. Привязка осуществлялась путём идентификации и указания видимых опознаков на отдельных аэрофотоснимках. Опознаки наносились оператором на электронную карту местности в форме отдельных объектов. Для каждого опознака указывалось его истинное плано-высотное местоположение, полученное в ходе координирования опознаков на местности. Было произведено повторное уравнивание КЦФ и углов внешнего ориентирования фотоснимков на основе данных об истинных координатах опознаков и их расположении на фотоснимках.

Имея с высокой точностью ориентированные и координированные фотоснимки, выполняется построение цифровой модели местности (ЦММ) — плотного облака точек (рис. 9). Координаты отдельных точек облака определялись фотограмметрическим методом на основе набора соседних фотоснимков.

Далее для получения единого ортофотоплана производится проецирование фотоснимков на плотное облако точек. С целью устранения артефактов проецирования на границах вертикальных объектов (деревья, здания) была произведена классификация облака точек (рис. 10). Чтобы исключить из ЦММ сведения об объектах, возвышающихся над рельефом, и получить цифровую модель рельефа (ЦМР), выполнена фильтрация облака. ЦМР может быть представлена облаком точек, триангуляционной моделью либо картой высот (рис. 11).

Ортотрансформирование изображений — устранение на изображении геометрических искажений, вызванных как оптическими эффектами, так и отклонением оси фотоаппарата от вертикальной, выполнялось путём проецирования позиционированных и ориентированных аэрофотоснимков на ЦМР. Так как изначально фотографирование производилось с большим перекрытием между снимками, каждый участок местности проецировался одновременно на большое число соседних фотоснимков (от 10 до 40 штук). Для составления единого ортофотоплана на каждый участок местности выбирался один фотоснимок, максимально удовлетворяющий критериям качества для данного участка. На границах участков формировались линии реза — линии, вдоль которых проекции различных ортофотоснимков стыкуются между собой для получения единого ортофотоплана (рис. 12). Затем отобранные фотоснимки проецировались с учётом линий реза. Результатом этих операций явился готовый ортофотоплан.

Для контроля качества ортофотоплана выполняется просмотр и выявление артефактов проецирования и склейки

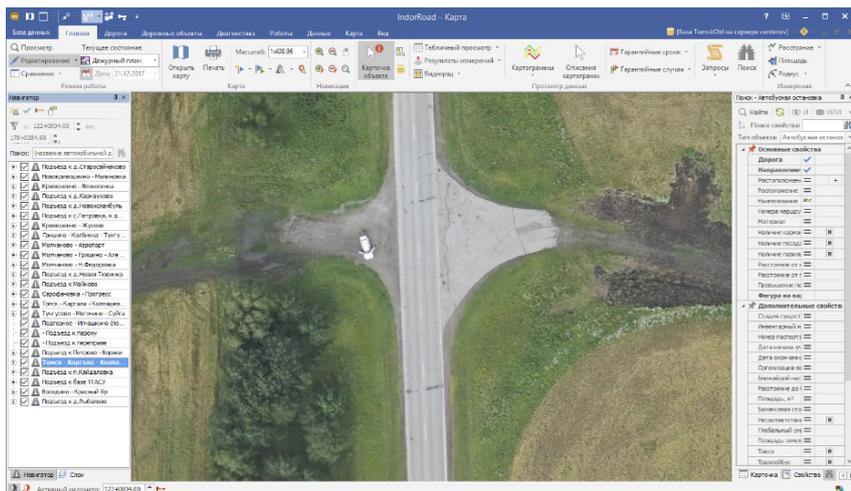


Рис. 13. Ортофотоплан в ГИС IndorRoad

отдельных фотоснимков. Затем выполняется контроль точности планово-высотной привязки на основе контрольных опознаков, заложенных на этапе создания планово-высотного обоснования.

Полученный единый ортофотоплан был экспортирован в формат MAP (формат программных продуктов ООО «ИндорСофт») и внесён в систему ГИС в качестве фотографической подложки для дальнейшей оцифровки местности (рис. 13).

Мобильное лазерное сканирование

Для повышения пространственной точности и детализации электронного плана местности ГИС до соответствия картографическому масштабу 1:500, а также для создания трёхмерной модели земельного полотна, являющейся

составной частью ГИС, вдоль осей автомобильных дорог в пределах полосы отвода выполняется мобильное лазерное сканирование.

Мобильное лазерное сканирование является геодезическим методом получения точной пространственной информации о характере рельефа и объектов, расположенных на местности. Измерения производятся мобильными лазерными сканирующими системами, установленными на автотранспортные средства. В своём составе система имеет навигационную подсистему, состоящую из геодезического спутникового приёмника для измерения точного местоположения и инерциальной навигационной системы (ИНС) для измерения углов ориентирования системы в пространстве. Зная своё точное местоположение и ориентацию в пространстве, сканер

может вычислить пространственное местоположение окружающих точек местности с помощью высокоскоростного лазерного дальномера, установленного на вращающуюся платформу. Делая один оборот вокруг своей оси, дальномер получает информацию о координатах множества точек местности, находящихся в плоскости, перпендикулярной оси вращения. Двигаясь вдоль оси автомобильной дороги вместе с автотранспортным средством, сканер перемещает и свою плоскость сканирования, формируя при этом цифровую модель местности высокой детализации — облако точек. Абсолютная пространственная точность облака точек зависит от модели системы и используемой методики съёмки и может достигать субсантиметровых значений [2].

Для проведения лазерной съёмки в рамках создания ГИС дорог Томской области была использована мобильная система лазерного сканирования MDL Dynascan S250 X-Plane с двумя сканирующими головками, встроенным GNSS-приёмником и инерциальной навигационной системой геодезического класса (рис. 14).

Данная система позволяет производить съёмку на максимальную дистанцию 250 м от оси дороги с точностью измерения расстояния ± 1 см, абсолютной пространственной точностью 5 см, частотой сканирования 72 000 точек/сек.

ПОДГОТОВКА К ВЫПОЛНЕНИЮ СКАНИРОВАНИЯ

Подготовительные работы к выполнению мобильного лазерного



Рис. 14. Мобильная система лазерного сканирования MDL Dynascan S250 X-Plane: а) внешний вид системы; б) лазерная система, установленная на транспортное средство

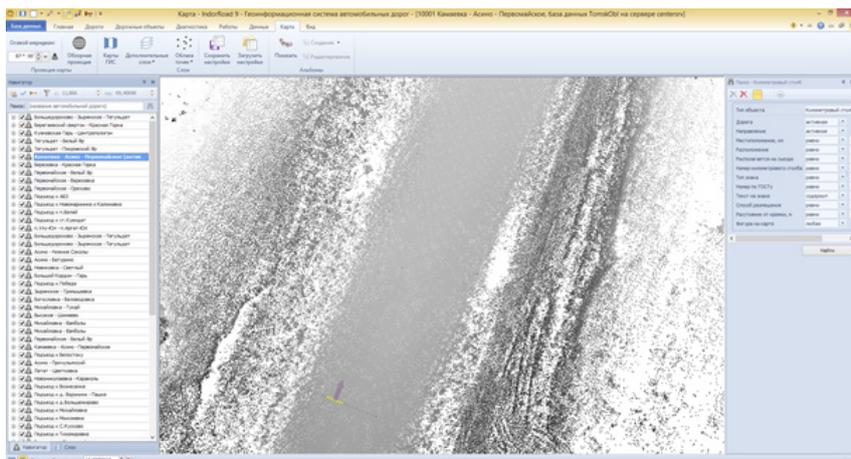


Рис. 15. Облако точек, полученное после двух проездов по автомобильной дороге

Ключевую роль в осуществлении лазерного сканирования играет запись точной траектории движения сканирующей системы с одновременной записью параметров ориентации сканера в пространстве...

сканирования заключались в подготовке оборудования, инструктаже полевых бригад, планировании маршрутов передвижения полевой лаборатории. Также на данном этапе была выполнена установка временных базовых станций и закладка опознаков для выполнения контрольных измерений.

Ключевую роль в осуществлении лазерного сканирования играет запись точной траектории движения сканирующей системы с одновременной записью параметров ориентации сканера в пространстве: курса, крена и тангажа. Поэтому особое внимание уделялось правильной установке временных базовых станций.

Маршруты планировались таким образом, чтобы не выходить из зоны действия временных базовых станций и при этом покрыть за один проезд максимально длинный участок дороги.

Для выполнения контроля качества съёмки производилась сверка результатов измерения с координатами опознаков, заложенных на местности. По возможности использовались опознаки, заложенные в процессе выполнения аэрофотосъёмки. При необходимости вдоль маршрута движения лаборатории закладывались и коор-

динировались дополнительные опознаки.

ИЗМЕРЕНИЯ

Перед началом работы данная сканирующая система требует обязательной инициализации и прогрева. Инициализация заключается в строго прямолинейном разгоне с равномерным ускорением от 0 до 40 км/ч, при котором инерциальная навигационная система калибрует показания курсового угла. Прогрев заключается в проезде дорожной лабораторией по траектории фигур вида кругов, прямых и восьмёрок в течение нескольких минут. Данная процедура необходима для калибровки данных, поступающих с гироскопов и акселерометров инерциальной навигационной системы.

После процедуры прогрева выполнялись непосредственно измерительные заезды. Запись данных осуществлялась с помощью программного обеспечения Qinsy (QPS, Нидерланды) и IndorLab (ООО «ИндорСофт», г. Томск). При съёмке дорожная лаборатория двигалась по крайней полосе автомобильной дороги со скоростью не более 40 км/ч, лазерные головки сканирующей системы выполняли считывание данных рельефа с частотой 36000 измерений в секун-

ду. Оператор контролировал текущие показания навигационной системы и лазерного дальномера в реальном времени, акцентируя внимание на количество видимых спутников GNSS, погрешность измерения углов ИНС, плотность облака точек.

После выполнения первого заезда выполнялся повторный заезд в обратном направлении движения. Выполнение двух проездов позволило сгустить облака точек, получив тем самым более детальную модель рельефа, а также исключить образование теней (пустот в облаке точек, возникающих из-за заслонения рельефа объектами местности) в границах откосов автомобильных дорог (рис. 15).

После выполнения съёмки руководитель полевой бригады выполнял контроль результатов. Далее выполнялась первичная обработка навигационных измерений относительно временных базовых станций. При этом оценивалась погрешность вычисления координат отдельных точек траектории движения сканера. Затем на основе полученной траектории формировалось облако точек, которое оценивалось по критериям полноты покрытия местности. Осуществлялась предварительная оценка точности планово-высотной привязки методом сравнения данных прямого и обратного проезда. По результатам контрольных процедур руководитель полевой бригады принимал решение о первичной приёмке результатов полевых работ. В случае отбраковки производилась повторная съёмка данного участка дороги.

КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЛАКА ТОЧЕК

Дальнейшая работа с данными мобильного лазерного сканирования производилась в камеральных условиях. Облака точек обоих проездов наносились на единую трёхмерную электронную карту. Производился поиск местоположения опознаков на ЦММ, вычисление их координат на основе облаков точек и контрольное сравнение с истинными координатами опознаков, полученными в ходе натурных измерений. При неудовлетворительных результатах производилась дополнительная калибровка мобильной сканирующей системы на основе координат опознаков либо принималось решение о необходимости повторной съёмки участка дороги.

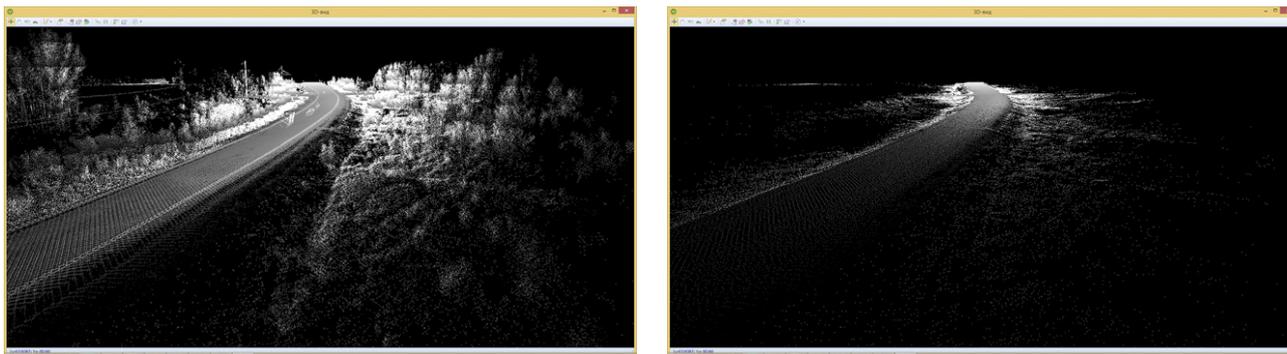


Рис. 16. Облако точек: а) со всей информацией о местности; б) с информацией о рельефе



Рис. 17. Измерение характерных точек мостового сооружения

На следующем этапе производилась классификация облаков точек. Классификация необходима для выявления точек, соответствующих рельефу местности. Точки рельефа местности формируют ЦМР, необходимую для построения трёхмерной модели земляного полотна в ГИС. Классификация производилась в автоматизированном режиме с помощью программы IndorCloud.

Результатом работ стали два набора облаков точек: одни содержали полную информацию о ситуации на местности (рис. 16, а), другие содержали точки, относящиеся исключительно к рельефу (рис. 16, б).

Координирование характерных точек в полосе отвода

В ходе создания ГИС возникает необходимость в наличии пространственных сведений о характерных точках местности, которые невоз-

можно либо трудозатратно определить на основе данных аэрофотосъёмки или мобильного лазерного сканирования. Также некоторые дорожные объекты требуют повышенной точности и достоверности измерения пространственных характеристик. Исходя из этих нужд, в ходе полевых работ был выполнен процесс натуральных спутниковых измерений координат следующих характерных точек местности:

- начало и конец автомобильной дороги;
- месторасположение километровых столбов;
- характерные точки искусственных дорожных сооружений.

Перед началом данных работ была осуществлена подготовка оборудования, инструктаж полевых бригад, а также составление полевых журналов, включающих предварительные ведомости характерных точек, подлежащих измерению.

Точки начала и конца дорог включались в ведомости на основе согласованных схем и кроков, составленных на этапе подготовительных работ. Ведомости искусственных сооружений и километровых столбов составлялись на основе технических паспортов дорог, проектов организации дорожного движения, паспортов мостов и путепроводов, карточек водопропускных труб.

Непосредственно натурные измерения производились двумя бригадами методом спутниковых измерений в режиме Stop&Go (рис. 17). Режим Stop&Go является разновидностью кинематического метода дифференциальных спутниковых измерений, однако позволяет повысить точность измерений в определённых точках съёмки путём кратковременного пере-

вода спутникового приёмника в статический режим.

Результатом работ стали электронные ведомости точных координат характерных точек.

Запись круговых панорамных видеорядов

Предоставляя всю полноту пространственной информации для создания ГИС, результаты предыдущих полевых работ тем не менее не содержат в себе логической информации о характере дорожных объектов в пределах съёмки. Такие параметры, как виды установленных дорожных знаков, номера километровых столбов, типы и названия объектов дорожного сервиса, невозможно получить на основе данных аэрофотосъёмки и мобильного лазерного сканирования. Для доступа к такого рода сведениям в камеральных условиях в ходе создания ГИС дорог Томской области применялась методика анализа результатов панорамной видеосъёмки.

Панорамная видеосъёмка представляет собой вид видеосъёмки, при котором каждый кадр видеоряда является панорамным, т.е. позволяет производить обзор снятой местности на широкий угол (вплоть до 360 градусов).

В ООО «ИндорСофт» применяется метод панорамной видеосъёмки, при котором каждый кадр имеет углы обзора 360 градусов как по вертикали, так и по горизонтали. Съёмка выполнялась видеокамерой PointGrey Ladybug 5, установленной на дорожную лабораторию (рис. 18).

Камера позволяет снимать поток с шагом один метр. Результирующее панорамное изображение формируется одновременно с шести фотообъективов, при этом качество панорамы не уступает качеству исходного изобра-



Рис. 18. Панорамная видеочкамаера Ladybug 5

жения и не имеет слепых зон. Пространственная привязка снятых кадров осуществляется автоматически на основе данных GNSS-приёмника.

Непосредственно видеосъёмка дорог Томской области выполнялась с помощью мобильной дорожной лаборатории путём проезда вдоль оси автомобильной дороги в прямом и обратном направлениях. Для выполнения панорамной видеосъёмки была сформирована полевая бригада, состоящая из водителя и оператора видеосъёмки. Задачей водителя являлось управление автомобилем со скоростью не более 60 км/ч по крайним полосам автомобильной дороги. Задача оператора состояла в контроле качества съёмки.

Результатом выполнения панорамной видеосъёмки стал набор панорамных видеорядов в формате XPRN (разработка ООО «ИндорСофт») по каждой автомобильной дороге, кадры которых имеют пространственную привязку в требуемой системе координат.

Этап 3: Наполнение базы данных ГИС

Следующим этапом создания ГИС является наполнение базы данных материалами, полученными в ходе подготовительных и полевых работ.

В основе ГИС дорог Томской области лежит программный комплекс IndorRoad (рис. 19) (разработка ООО «ИндорСофт»), работающий в связке с системой управления базами данных Microsoft SQL Server.

На первом этапе с использованием поставляемых с системой IndorRoad программ на внутреннем рабочем сервере ООО «ИндорСофт» была развернута новая база данных ГИС. Эта база, являясь пустой относительно наполнения фактической информацией о существующих дорогах, уже содержала полный набор сведений о структуре ГИС и её элементов.

Далее было произведено подключение ортофотоплана и облаков точек. Эти пространственные данные были помещены на файловый сервер и путём создания электронных ссылок в базе данных нанесены на единый электронный план местности ГИС.

Таким образом была сформирована основа системы ГИС — база данных, содержащая электронный план местности, который на данном этапе представлял собой результаты полевых работ в виде подложек.

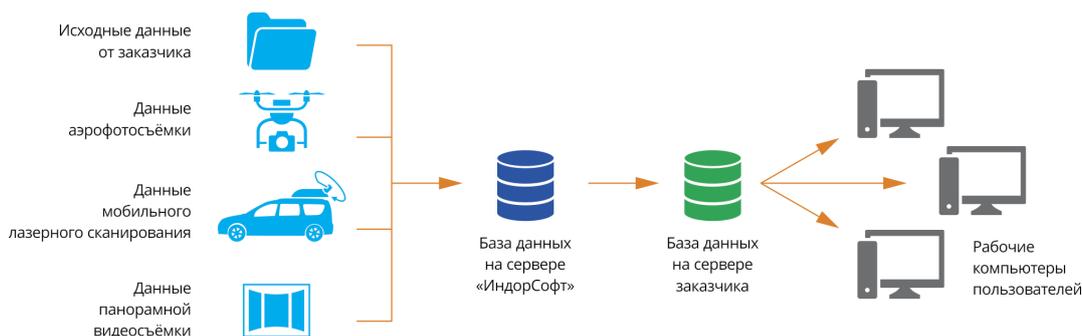


Рис. 19. Клиент-серверная архитектура ГИС IndorRoad

Создание каркаса сети автомобильных дорог

В отличие от традиционных видов паспортизации — технических паспортов на основе ВСН 1-83, классических банков дорожных данных и др., в которых адресация элементов дорожной инфраструктуры изначально производится в линейной системе координат (координаты представляются километровой отметкой и смещением относительно оси соответствующей дороги), — ГИС автомобильных дорог ООО «ИндорСофт» использует более комплексный подход [3].

В ГИС для базовой адресации отдельных объектов используются пространственные координаты в единой географической системе координат — широта и долгота. Вычисление линейных координат объектов производится автоматически на основе пространственного «каркаса» сети автомобильных дорог.

Каркас представляет собой двумерный граф, описывающий взаимосвязь и расположение на местности осевых линий автомобильных дорог, направлений, проезжих частей, элементов транспортных развязок.

Второй главной функцией каркаса является представление в ГИС сведений об общей иерархии основных элементов сети автомобильных дорог. В верхней части иерархии каркаса ГИС находятся элементы типа «автомобильные дороги», являющиеся аналогом титулов в терминах классической паспортизации. На следующем уровне они подразделяются на направления. Каждая дорога имеет одно основное направление и опционально некоторое количество альтернативных — обходов и подъездов. Направления, в свою очередь, содержат оси отдельных проезжих частей и элементов транспортных развязок (рис. 20).

Каждая ось каркаса состоит из базовых элементов — рёбер дорожной сети, — представляющих собой пространственные линии, нанесённые на единую электронную карту местности в той же географической СК, что и остальные

объекты ГИС. Каждое отдельное ребро каркаса содержит информацию о линейных координатах своего начала и конца. Так, первое ребро оси дороги обычно содержит адрес начала «0», адрес конца — «0 + длина ребра вдоль оси дороги». Каждое последующее ребро содержит адрес начала, равный адресу конца предыдущего ребра (рис. 21).

Каркас в ГИС служит основой, к которой привязываются все остальные объекты дорожной инфраструктуры. Каждый объект в ГИС содержит ссылку на ближайшее ребро. На основе этих ссылок формируется представление о принадлежности каждого объекта ГИС к определенной автомобильной дороге и пространственном расположении объекта относительно её оси. Зная эту информацию, а также данные о линейной адресации рёбер каркаса, ГИС автоматически вычисляет километровую отметку и смещение соответствующего объекта.

Создание каркаса ГИС дорог Томской области началось с создания в базе данных логической структуры сети автомобильных дорог. В базе данных были созданы объекты классов «автомобильная дорога», «направление», «ось», содержащие основные атрибутивные сведения, но без пространственной информации. Были созданы взаимные ссылки, формирующие общую иерархию этих объектов. Далее для каждого объекта класса «ось» было произведено трассирование осевых линий. Трассирование осуществлялось на основе данных аэрофотосъёмки и лазерного сканирования путём нахождения на исходных данных местоположения кромок проезжих частей и проведения центральной линии между ними с учётом существующей дорожной разметки, опознанной на съёмке. Далее полученные линии разбивались на фактически прямые участки и фактически круговые кривые с включениями участков переходных кривых. Таким образом выполнялось приближение к исходной проектной оси автомобильной дороги.

Полученные осевые линии делились на отдельные участки в соответствии с фактической

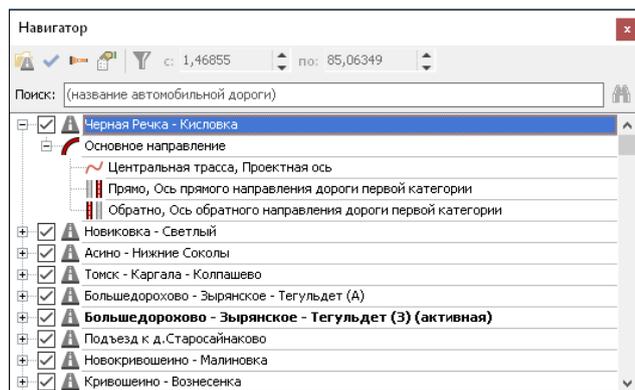


Рис. 20. Окно навигатора системы IndorRoad с иерархией элементов сети автомобильных дорог



Рис. 21. Сеть автомобильных дорог на карте

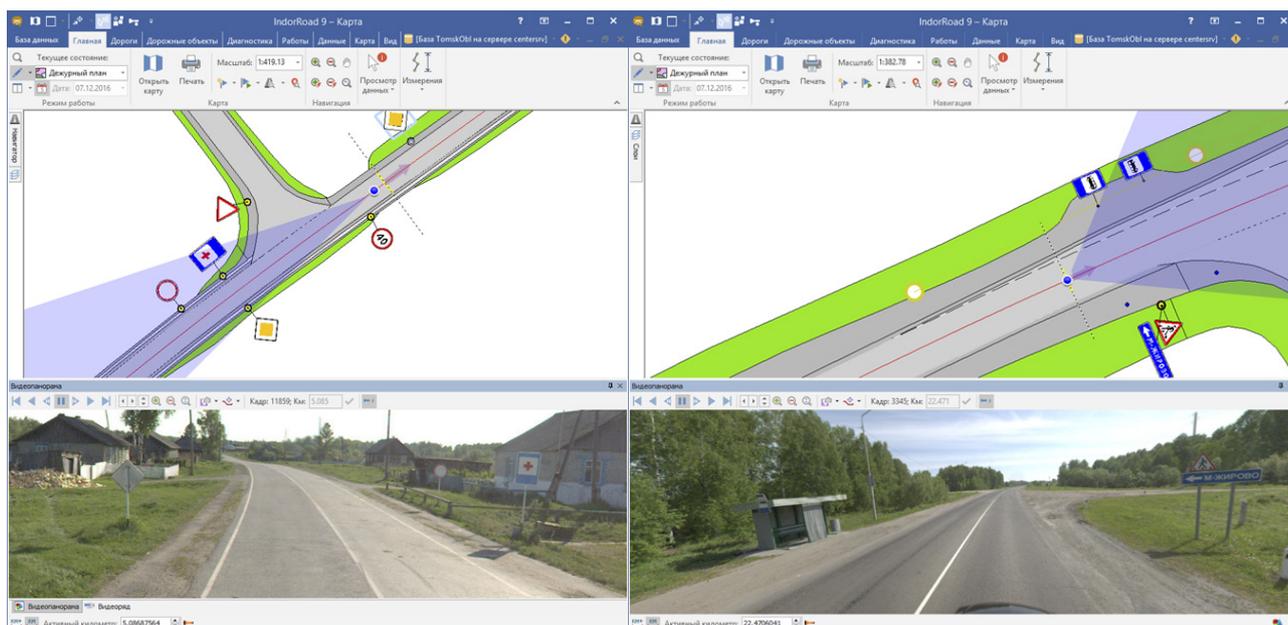


Рис. 22. Кадры панорамного видеоряда с привязкой к километражу дороги

структурой сети автомобильных дорог. Далее эти участки были преобразованы в объекты базы данных ГИС класса «ребро дорожной сети». В совокупности геометрия отдельных рёбер оси сформировала геометрию самой оси. Продольный профиль осей был сформирован отдельным инструментом ГИС, позволяющим «положить» двумерную геометрию рёбер на трёхмерное облако точек по высоте. Далее для каждого ребра дорожной сети была задана линейная адресация — указаны километровые отметки начала и конца ребра. Адресация осуществлялась путём откладывания фактических длин рёбер от адреса точки начала автомобильной дороги, согласованной на начальном этапе работ. Результатом стала полная и непротиворечивая каркасная модель сети дорог Томской области.

Привязка панорамной видеосъёмки к осям дорог ГИС

Полученная модель, содержащая пространственную информацию о расположении осей, позволила внести в ГИС данные панорамной видеосъёмки. Исходные видеокadres уже имели пространственную привязку в географических координатах на основе GNSS, однако просмотр отдельных видеокadres, «висящих» в пространстве, не имеет практической

пользы. Более удобным способом просмотра является просмотр видео на определённой точке оси дороги — на т.н. активной километровой отметке. Двигая эту точку вдоль оси, можно осуществить сквозной просмотр всего видеоряда по выбранной дороге. Такой метод просмотра требует предварительной привязки видеоданных к осям, которая заключается в задании для каждого видеокadra линейных координат относительно оси дороги.

Для привязки видеоданных в ГИС было создано специальное файловое хранилище со всеми необходимыми файлами видеорядов. Размер хранилища ГИС дорог Томской области составил 3 Тб. Привязка видеорядов к осям осуществлялась путём создания соответствующих объектов ГИС, имеющих ссылки одновременно как на файлы видеоданных, так и на объекты осей автомобильных дорог. Вычисление линейного адреса каждого кадра производилось автоматически на основе его географических координат и геометрии оси.

В результате модель сети автомобильных дорог Томской области была дополнена видеоданными, позволяющими в несколько кликов на любой точке каркаса отобразить ближайший панорамный видеокادر и оценить обстановку в указанном месте (рис. 22).

Наполнение базы данных ГИС объектами на основе материалов полевого обследования

На следующем этапе было произведено наполнение ГИС данными по объектам в полосе отвода и придорожной полосе автомобильных дорог. Геометрические сведения по данным объектам в совокупности образуют цифровой план местности ГИС. Атрибутивная же информация по этим объектам является основой для электронного технического паспорта дорог ГИС, а также позволяет производить аналитические операции с базой данных — производить расчёты, осуществлять поиск объектов по определённым критериям, составлять отчёты и ведомости, генерировать линейные графики, строить картограммы и т.п.

Объекты в ГИС подразделяются на следующие категории:

- логические участки;
- участки дороги;
- сооружения;
- инженерное обустройство;
- объекты придорожной полосы;
- объекты сервиса;
- события на дороге.

Рёбра дорожной сети, внесённые в ГИС ранее, входят в первую категорию. Остальные объекты данной категории, такие как «участки категории», «участки прохождения по районам» и т.п. вносились в ГИС на по-

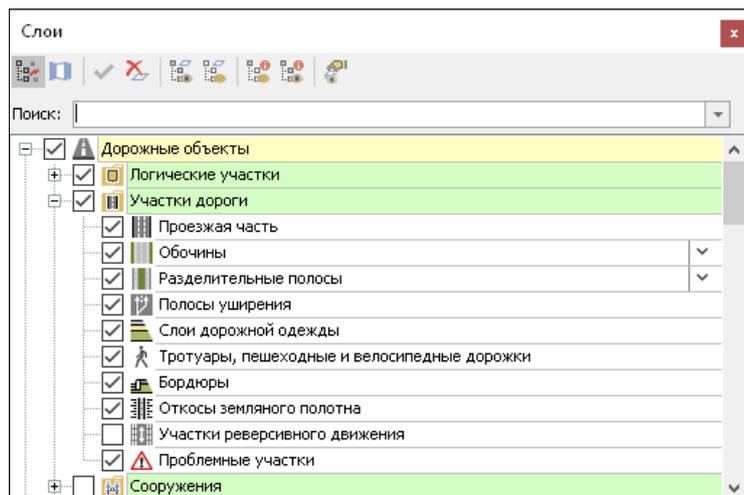


Рис. 23. Объекты в группе «Участки дорог» в ГИС IndorRoad

следующих этапах, так как не имеют физического представления в материалах полевых работ.

Далее было произведено создание объектов категории «Участки дороги». Объекты данной категории составляют основу непосредственно модели автомобильных дорог и представлены такими классами объектов, как «участок проезжей части», «участок обочины», «участок откоса земляного полотна» и др. (рис. 23). Их внесение началось с оцифровки облаков точек путём создания ряда структурных линий в местах характерных элементов поперечных профилей автомобильных дорог для обозначения кромок проезжих частей, бровок насыпей, подошв откоса и пр. (рис. 24). Частота узлов линий составила 5–20 метров для прямых участков и 0,3–1 метр — для поворотов и в местах изменения геометрии дороги.

Полученные структурные линии были разбиты на участки в характерных местах изменения параметров проезжей части и земляного полотна. На основе полученных участков были сформированы пространственные фигуры — полигоны, описывающие геометрию отдельных объектов ГИС. Полигоны были преобразованы в полноцен-

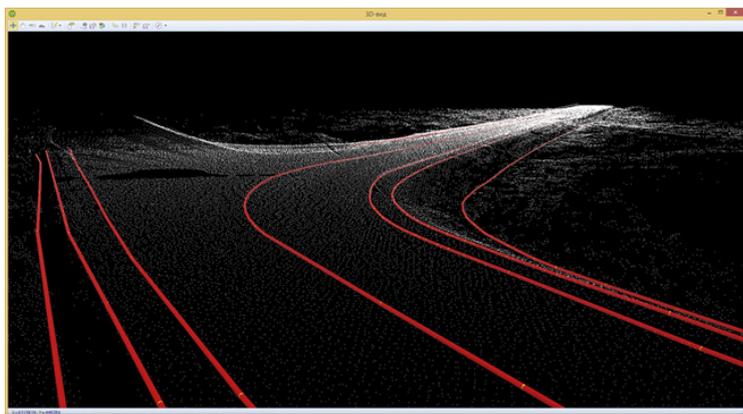


Рис. 24. Оцифрованные линии трассы по облаку точек

ные объекты ГИС путём задания соответствующего класса объекта и наполнения атрибутивной информацией, такой как длина, ширина, тип покрытия, наличие укрепления и т.п.

Объекты группы «Сооружения» были внесены на основе координированных характерных точек, полученных на этапе полевых работ. Точки были соединены в пространственные линии и полигоны, представляющие в ГИС геометрическую основу для объектов мостовых сооружений и водопропускных труб. Атрибутивная информация вносилась на основе данных, предоставленных заказчиком в паспортах и карточках ИССО, которые также были внесены в ГИС в виде электронных документов, привязанных к соответствующим объектам ГИС.

Объекты группы «Инженерное обустройство» вносились путём оцифровки исходных данных аналогично объектам группы «Участки дороги», однако атрибутивная информация получалась преимущественно на основе анализа видеоданных. Видеопанорамы являлись единственным источником, позволившим получить такую информацию, как виды дорожных знаков, классы ограждений, номера километровых столбов и т.п. Атрибутивная информация дополнительно связывалась с данными технических паспортов автомобильных дорог, предоставленных заказчиком (рис. 25).

Объекты группы «Объекты придорожной полосы» вносились аналогичным образом за исключением класса «Земельные участки дороги». Данные этого класса, фактически представляющие информацию о полосе отвода автомобильной дороги, были получены из электронных выписок из кадастровых паспортов, полученных от заказчика. Данные файлы содержали как пространственную, так и атрибутивную информацию по земельным участкам. Внесение в ГИС осуществлялось путём полуавтоматического импорта из файлов инструментами, представленными в ПО IndorRoad (рис. 26).

Объекты группы «Объекты сервиса» оцифровывались в первую очередь на основе данных панорамной видеосъёмки. Сначала они опознавались на видеокдрах путём сквозного просмотра видеоданных вдоль осей. Далее производился поиск контуров найденного объекта на данных аэрофотосъёмки, после чего выполнялась финальная оцифровка геометрии и создание объекта ГИС (рис. 25).

Внесение в ГИС сведений на основе исходных материалов заказчика

Объекты групп «События на дороге» и «Логические участки», относящиеся к таким классам как «Категорийный участок дороги», «Участок прохождения по районам», «Участок работ», «Участок диагностики», «ДТП», вносились в ГИС на основе документальных данных, предоставленных заказчиком. Исходные технические

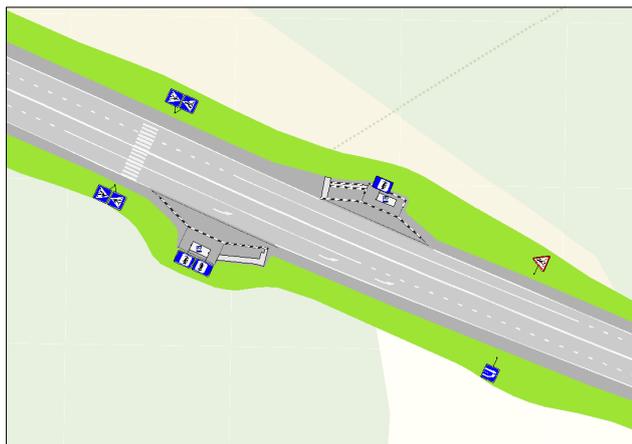


Рис. 25. Инженерное обустройство и остановки на карте в IndorRoad

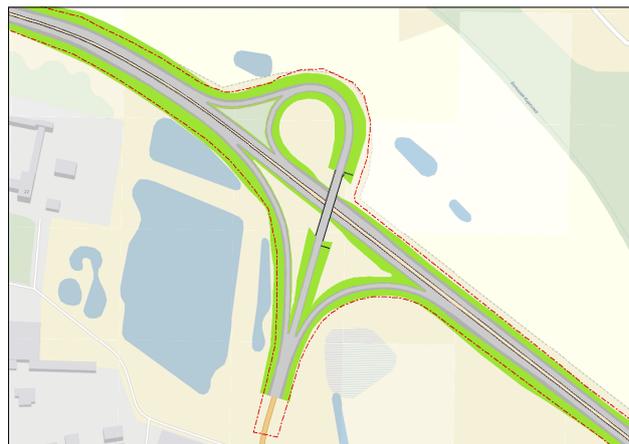


Рис. 26. Полоса отвода на карте в IndorRoad

паспорта и ведомости были проанализированы, необходимая информация была извлечена и систематизирована, чтобы затем стать основой для создания объектов.

В данном случае объекты создавались изначально без геометрической информации и вносились в ГИС в табличной форме аналогично тому, как это делается в классических банках дорожных данных. Адресация объектов производилась на основе линейной системы координат. Однако после создания объекта в ГИС и привязки его к определённой оси дороги на определённую километровую отметку появилась возможность сгенерировать геометрическое описание объекта на основе атрибутивных данных. Так, зная километровую отметку объекта типа «ДТП» и номер полосы, на которой оно произошло, ГИС может создать точечную фигуру, указывающую на место ДТП на электронном плане местности. Протяжённые объекты, такие как «участки диагностики» и «участки проведения работ» получают геометрическое представление в виде линейных объектов, располагающихся вдоль осей дорог на соответствующих данным событиям участках.

Информация о непосредственно результатах диагностики вносилась в ГИС исключительно в табличном виде путём автоматического импорта из исходных диагностических ведомостей, предоставленных заказчиком и включала такие виды дорожных измерений как: «Ровность», «Прочность», «Глубина колеи», «Интенсивность движения».

Создание трёхмерной модели

Финальным штрихом наполнения базы данных ГИС явилось создание в ГИС в дополнение к основному двумерному плану трёхмерной модели местности в пределах придорожной полосы автомобильной дороги (рис. 27).

Трёхмерная модель создавалась на основе классифицированного облака точек. При классификации в облаке оставались только те точки, которые соответствовали рельефу местности. Далее облако точек прорезалось, и на его основе создавалась ЦМР, которая

затем была подгружена в ГИС. Объекты инженерного обустройства и сооружения, присутствующие на трёхмерной модели, являются трёхмерным представлением объектов, уже содержащихся в ГИС, и наносятся на трёхмерную модель в автоматическом режиме.

Этап 4: Внедрение

На последнем этапе полученная система была внедрена в ОГКУ «Томскавтодор». База данных и сопутствующие электронные материалы были развёрнуты на уже имеющихся серверах заказчика. Размер развёрнутой базы данных составил 25 Гб, размер сопутствующих материалов — 4 Тб.

На рабочих местах пользователей была развёрнута клиентская часть ГИС на основе ПО IndorRoad, предоставляющего полный доступ к электронному плану местности и всей атрибутивной информации, имеющейся в системе.

Доступ как ко всей системе ГИС, так и отдельным её частям, регулируется подсистемой контроля доступа ГИС, которая позволяет создавать отдельные учётные записи для каждого пользователя, а также регулировать доступ пользователей к отдельным объектам или группам объектов. Права доступа отдельных пользователей к частям ГИС дорог Томской области были настроены в соответствии с требованиями заказчика. Также были созданы и переданы ответственным системным администраторам ОГКУ «Томскавтодор» специальные учётные записи с правами администрирования ГИС, позволяющие управлять системой доступа ГИС.

Далее был развёрнут отдельный веб-портал, позволяющий получать доступ к данным созданной ГИС через веб-браузер [4].

Система была передана в опытную эксплуатацию. В ходе опытной эксплуатации было произведено обучение персонала ОГКУ «Томскавтодор» работе с созданной системой. Обучающие курсы проходили в офисе ООО «ИндорСофт».

По результатам опытной эксплуатации была проведена доработка системы по требованиям заказ-

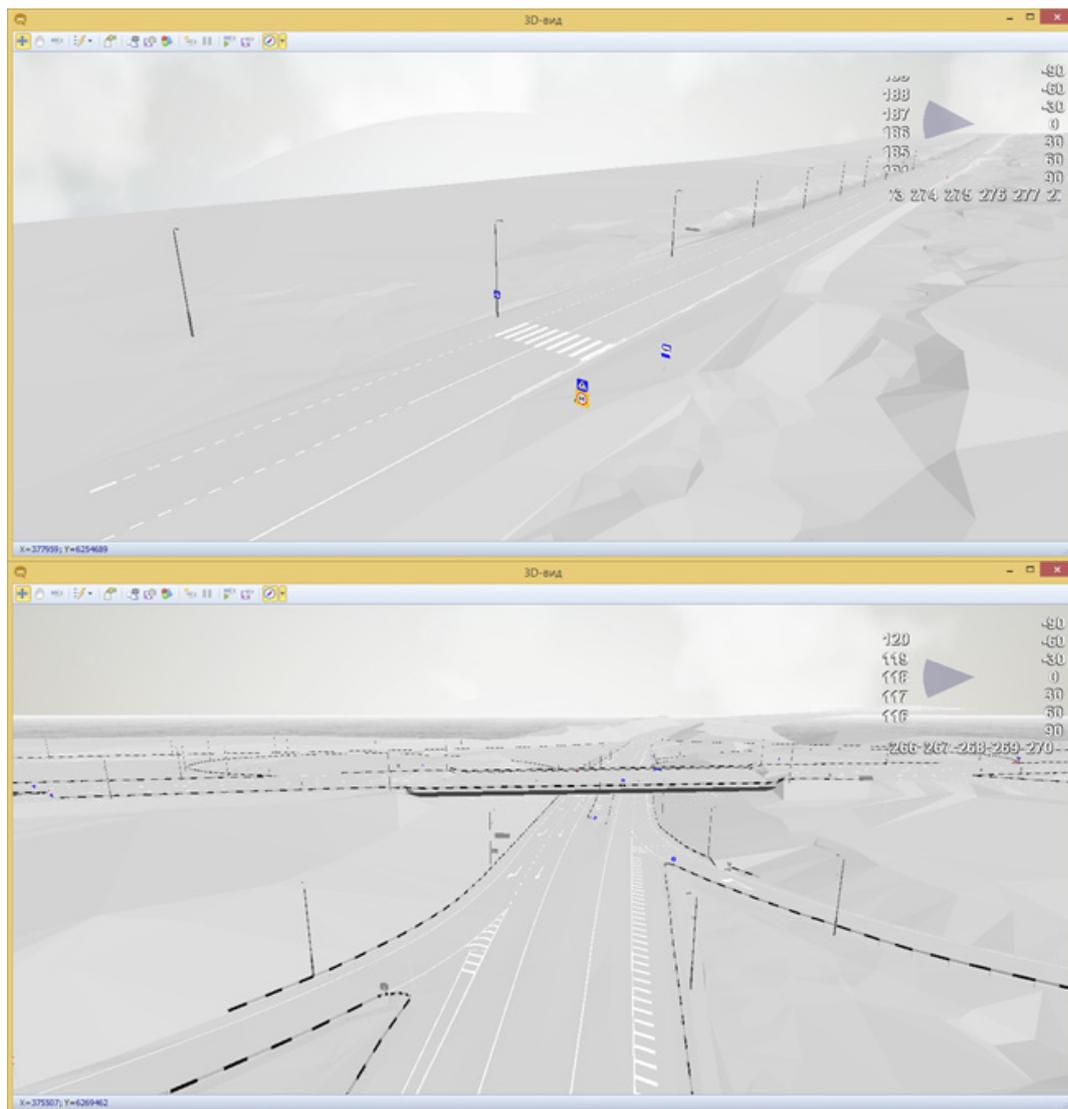


Рис. 27. Трёхмерная модель дороги в пределах полосы отвода

чика, и далее система была передана в промышленную эксплуатацию.

Заключение

В результате последовательного выполнения всех этапов создания ГИС — от планирования и сбора данных до внедрения и обучения пользователей — компанией «ИндорСофт» была создана и сдана в эксплуатацию полноценная рабочая система, содержащая актуальные сведения обо всех подведомственных дорогах и дорожных объектах «Томскавтодора» в Томском, Кожевниковском, Асиновском, Зырянском, Первомайском, Тегульдетском, Кривошеинском, Молчановском и Чаинском районах Томской области. Созданная ГИС обеспечивает структурированное хранение, поиск и анализ всех типов дорожных данных: данных паспортизации, инвентаризации, бухгалтерского учёта элементов автомобильных дорог, кадастрового учёта земель, диагностики, а также

данных, необходимых для формирования технических паспортов автомобильных дорог для целей государственной регистрации прав. ■

Литература:

1. Иноземцев Д.П. Автоматизированная аэрофотосъёмка с помощью программно-аппаратного комплекса «GeoScan-PhotoScan» // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. № 1(2). С. 46–51. DOI: 10.17273/CADGIS.2014.1.10
2. Сарычев Д.С. Мобильное лазерное сканирование // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2013. № 1(1). С. 36–41. DOI: 10.17273/CADGIS.2013.1.8
3. Скворцов А.В. Адресный план автомобильной дороги // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2013. № 1(1). С. 47–54. DOI: 10.17273/CADGIS.2013.1.10
4. Дмитриенко В.Е., Скворцов А.В. Геопортал автомобильных дорог // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2013. № 1(1). С. 42–46. DOI: 10.17273/CADGIS.2013.1.9