

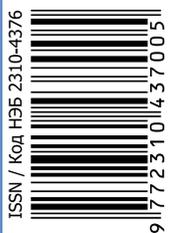
# САПР и ГИС

автомобильных дорог

№ 2(9), 2017



Тема номера: **Геоинформационные системы автомобильных дорог**



ISSN / Код НЭБ 2310-4376

9 772310 437005



# IndorCAD/Road Maximal

Система автоматизированного проектирования  
автомобильных дорог

- обработка изысканий
- построение цифровой модели местности
- подготовка топопланов
- проектирование строительства, реконструкций, ремонтов
- проектирование загородных дорог и городских улиц
- расчёт дорожных одежд
- автоматизированное проектирование виражей, примыканий, профилей, инженерного обустройства
- построение картограмм фрезерования и выравнивания
- вычисление объёмов
- объёмная визуализация
- подготовка чертежей и ведомостей



# От главного редактора



Темой данного выпуска журнала мы выбрали геоинформационные системы автомобильных дорог.

Секция BIM открывается статьёй, посвящённой анализу роли и места ГИС в контексте реализации парадигмы информационного моделирования.

В секции ГИС представлена обзорная статья, последовательно описывающая все этапы создания ГИС автомобильной дорог — от сбора имеющихся у заказчика данных до внедрения системы на предприятии заказчика. Другая статья секции рассматривает применимость БПЛА при геодезическом контроле строящихся и эксплуатируемых автомобильных дорог.

Секция САПР содержит обширную статью-обзор систем для обработки данных лазерного сканирования. Две другие статьи секции посвящены разработке проектов организации дорожного движения. Одна из них посвящена разработке временных схем дорожного движения на период ремонта в рамках комплексов информационного моделирования (BIM) дороги, другая статья представляет собой обзор функциональных возможностей для разработки ПОДД IndorTrafficPlan.

Секция Общество представлена увлекательной статьёй об истории создания и развития строительства скоростных дорог.

## АДРЕС РЕДАКЦИИ

634003, г. Томск, пер. Школьный, д. 6, стр. 3  
Телефон/факс: **8 800 333-0805**, +7 (3822) 650-450  
Электронная почта: **red@indorsoft.ru**

## РЕГИСТРАЦИЯ ЖУРНАЛА

**ISSN 2310-4376**

Версия: **для печати**

Номер свидетельства:

**ПИ № ФС 77-53497**

Наименование СМИ:

**САПР и ГИС автомобильных дорог**

Дата регистрации: **04.04.2013**

Форма распространения:

**печатное СМИ: журнал**

Территория распространения:

**Российская Федерация,**

**зарубежные страны**

Издатель: **ООО «ИндорСофт»**

Учредитель: **ООО «ИндорСофт»**



Версия журнала в интернете:

**cadgis.ru**

Журнал зарегистрирован

в системе **РИНЦ: eLIBRARY.ru**

Подписной индекс по «Каталогу российской прессы

«Почта России»: **54237**

Тираж — 1 000 экз. Формат 210×297

## КООРДИНАТОР ПРОЕКТА

**Бойков** Владимир Николаевич, д.т.н.

## ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

**Скворцов** Алексей Владимирович, д.т.н., проф.

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

**Алексиков** Сергей Васильевич, д.т.н., проф.

**Бойков** Владимир Николаевич, д.т.н.

**Бокарев** Сергей Александрович, д.т.н., проф.

**Васильев** Юрий Эммануилович, д.т.н., проф.

**Величко** Геннадий Викторович, к.т.н.

**Евтюков** Сергей Аркадьевич, д.т.н., проф.

**Жанказиев** Султан Владимирович, д.т.н., проф.

**Кулижников** Александр Михайлович, д.т.н., проф.

**Миронюк** Виталий Петрович, д.э.н.

**Овчинников** Максим Алексеевич, к.т.н.

**Петренко** Денис Александрович

**Сарычев** Дмитрий Сергеевич, к.т.н.

**Скворцов** Алексей Владимирович, д.т.н., проф.

**Субботин** Сергей Аркадьевич

**Трофименко** Юрий Васильевич, д.т.н., проф.

**Углова** Евгения Владимировна, д.т.н., проф.

**Чистяков** Игорь Владимирович, д.т.н., проф.

## ВЫПУСКАЮЩИЙ РЕДАКТОР

**Дмитриенко** Виктор Евгеньевич

## КОРРЕКТОРЫ

**Заварзина** Наталья Сергеевна

**Князюк** Елизавета Михайловна

**Райкова** Лидия Сергеевна

**Снежко** Ирина Викторовна

## ДИЗАЙН И ВЁРСТКА

**Патов** Евгений Валерьевич

## ОТДЕЛ РЕКЛАМЫ

**Кузнецова** Анна Петровна

## ВМ

### 4 ГИС в жизненном цикле автомобильных дорог на этапе их эксплуатации

Баранник С.В., Кузовлев Е.Г.

## САПР

### 10 Программы для обработки данных лазерного сканирования местности

Медведев В.И., Райкова Л.С.

### 32 Практика разработки проектов и временных схем организации дорожного движения с применением IndorTrafficPlan

Неретин А.А., Матвеев Н.М., Сорокин-Урманов С.Е.

### 36 IndorTrafficPlan как удобный инструмент для проектирования организации дорожного движения

Шакирзянова А.М., Кривопапов А.Д.

## ГИС

### 44 Анализ применимости БПЛА при геодезическом контроле строящихся и эксплуатируемых автомобильных дорог

Суконников О.Г., Неретин А.А., Гурьев В.А.

### 49 Создание ГИС дорог на примере опыта компании «Индор-Софт» при создании ГИС дорог Томской области

Блинов Д.С.

## ОБЩЕСТВО

### 66 Автомагистрали в вихрях истории

Кузнецова А.П.

# ГИС в жизненном цикле автомобильных дорог на этапе их эксплуатации

DOI: 10.17273/CADGIS.2017.2.1

Баранник С.В., главный специалист ООО «Автодор-Инжиниринг» (г. Москва)  
Кузовлев Е.Г., начальник отдела содержания автомобильных дорог государственной компании «Автодор» (г. Москва)

*Геоинформационные системы (ГИС) как инструмент инжиниринга и управления состоянием автомобильных дорог обсуждается давно и имеет множество примеров практической реализации [1]. В статье рассматриваются изменяющиеся роли и место ГИС в контексте реализации парадигмы информационного моделирования. Уделено значительное внимание зарубежному опыту и нормативной базе, сопутствующей внедрению процесса информационного моделирования (BIM) в практику технико-экономического обоснования, проектирования, строительства и эксплуатации объектов капитального строительства и, в частности, автомобильных дорог.*

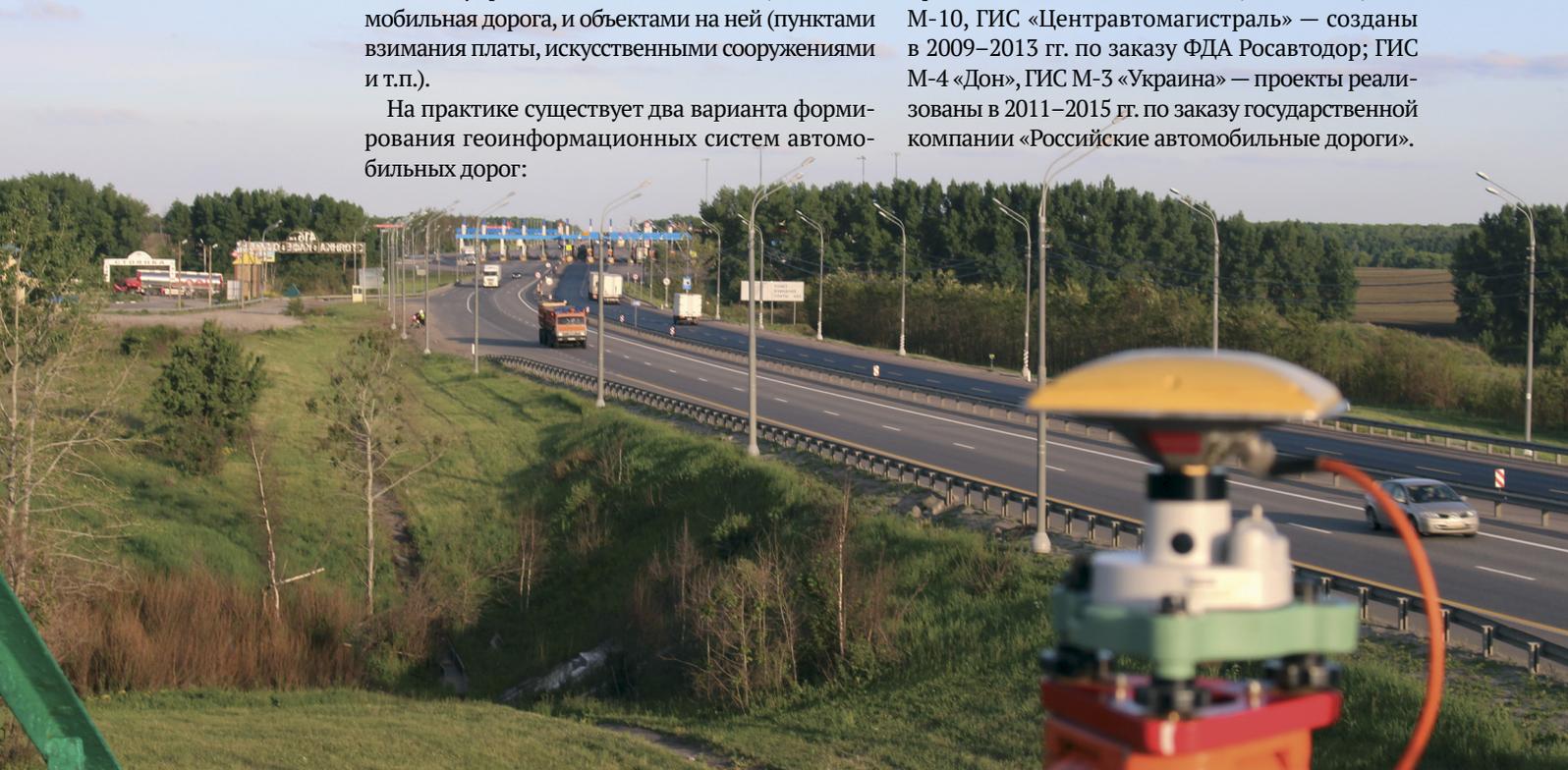
В настоящее время существует множество различных геоинформационных систем как зарубежных: ArcGIS компании ESRI, MapInfo компании MapInfo Corp., свободно распространяемая QGIS, так и предоставляемых российскими вендорами: IndorRoad компании IndorSoft, «ДорГИС» компании «Интелнова» и другие. Традиционно ГИС широко применяются для управления линейно-протяжёнными объектами, в том числе и автомобильными дорогами. С помощью ГИС решаются различные задачи, стоящие перед инженерами-дорожниками и связанные с управлением таким активом, как автомобильная дорога, и объектами на ней (пунктами взимания платы, искусственными сооружениями и т.п.).

На практике существует два варианта формирования геоинформационных систем автомобильных дорог:

- создание ГИС вместе с появлением объекта: проектирование — строительство — сдача в эксплуатацию;
- создание ГИС для уже существующего объекта (сданного в эксплуатацию ранее).

Рассмотрим каждый из вариантов на примерах реализованных проектов.

Более распространённым является второй вариант реализации ГИС-проектов, т.к. большинство автомобильных дорог уже были построены к моменту развития геоинформационных технологий. К таким уже реализованным проектам относятся: ГИС М-1, ГИС М-53, ГИС М-10, ГИС «Центравтомагистраль» — созданы в 2009–2013 гг. по заказу ФДА Росавтодор; ГИС М-4 «Дон», ГИС М-3 «Украина» — проекты реализованы в 2011–2015 гг. по заказу государственной компании «Российские автомобильные дороги».



Проекты, в которых ГИС создаётся на основании данных проектной и рабочей документации вместе со строительством автомобильной дороги: ГИС М-1 обход города Одинцово — проект выполнен в 2012–2014 гг. по заказу ОАО «Главная дорога». ГИС М-11 Москва — Санкт-Петербург — проект начат в 2016 г., находится в стадии выполнения, заказчик — государственная компания «Российские автомобильные дороги».

Далее рассмотрим связь геоинформационных систем и информационного моделирования (BIM), а также докажем, что ГИС автомобильных дорог является не чем иным, как BIM-моделью и одновременно средой обих данных этапа эксплуатации.

Для многих специалистов, занимающихся информационным моделированием, BIM-модель — это чаще всего модель этапа проектирования. Далее информационная модель передаётся на этап строительства (зачастую передача модели на последующие этапы жизненного цикла просто не рассматривается) — модель дополняется необходимой информацией и повышается уровень детализации (LOD — level of development) для определённых элементов модели. По завершении строительно-монтажных работ выполняется исполнительная съёмка и модель передаётся в эксплуатацию. Ключевое отличие информационного моделирования площадных объектов (зданий, сооружений) от линейно-протяжённых (в нашем случае автомобильных дорог) состоит в том, что автомобильная дорога проектируется и строится участками. Эти объекты-участки могут иметь большой разрыв во времени реализации, проектируются и строятся совершенно разными организациями-исполнителями в отличие от здания, которое целиком от котлована и до кровли проектируется одним генеральным проектировщиком (возможно, с привлечением субпроектировщиков по различным дисциплинам). Единую BIM-модель здания можно получить целиком по завершении реализации одного проекта. Автомобильная дорога может состоять из множества BIM-моделей отдельных участков. При передаче на этап эксплуатации и для получения единой модели всей автомобильной дороги наилучшей практикой является

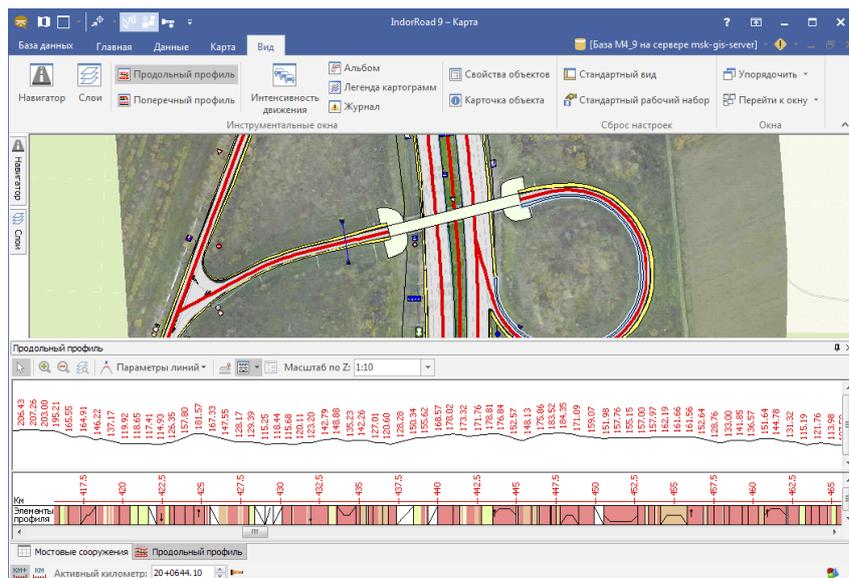


Рис. 1. Объекты автомобильной дороги в плане и продольный профиль

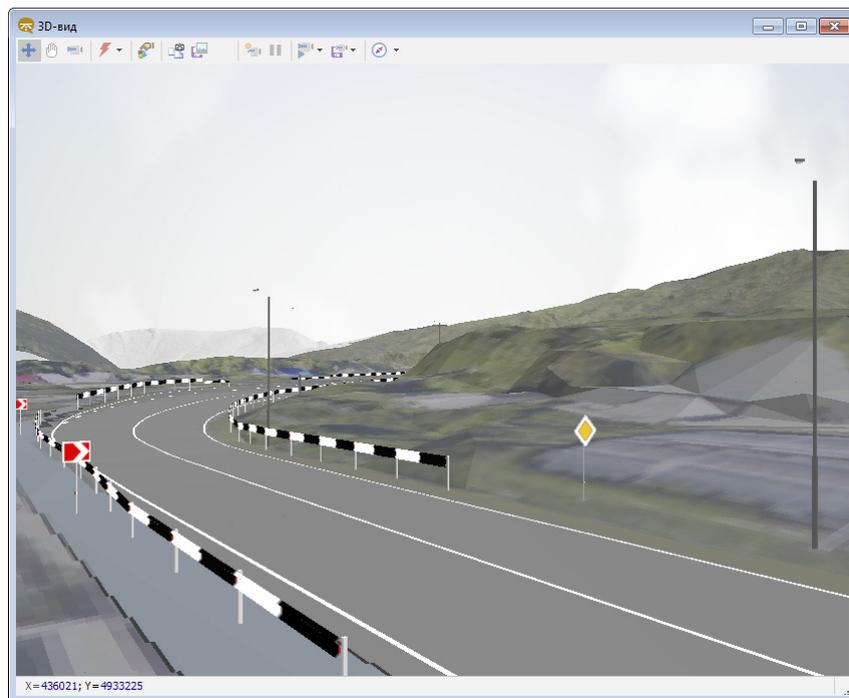


Рис. 2. 3D-вид автомобильной дороги М-4 «Дон» км 1500 + 140

использование геоинформационных систем.

Использование ГИС в информационном моделировании также поддерживается в BIM-стандарте США — NBIMS-US V3 [2]. Стоит отметить, что Соединённые Штаты Америки занимают одно из лидирующих мест в мире по уровню внедрения BIM. В данном стандарте описывается интерактивная модель уровней зрелости BIM (I-CMM). При оценке уровня зрелости BIM суммируются баллы по

всем 11 разделам, наивысший балл по разделу, связанному с ГИС, возможно получить, если для информационной модели справедливо следующее утверждение: «Информация из BIM полностью доступна в ГИС, включая все метаданные» [3].

Совершенно неважно, каким образом была получена информационная модель автомобильной дороги (с помощью модели, прошедшей весь путь от проектирования до эксплуатации, или в виде реализации отдельного



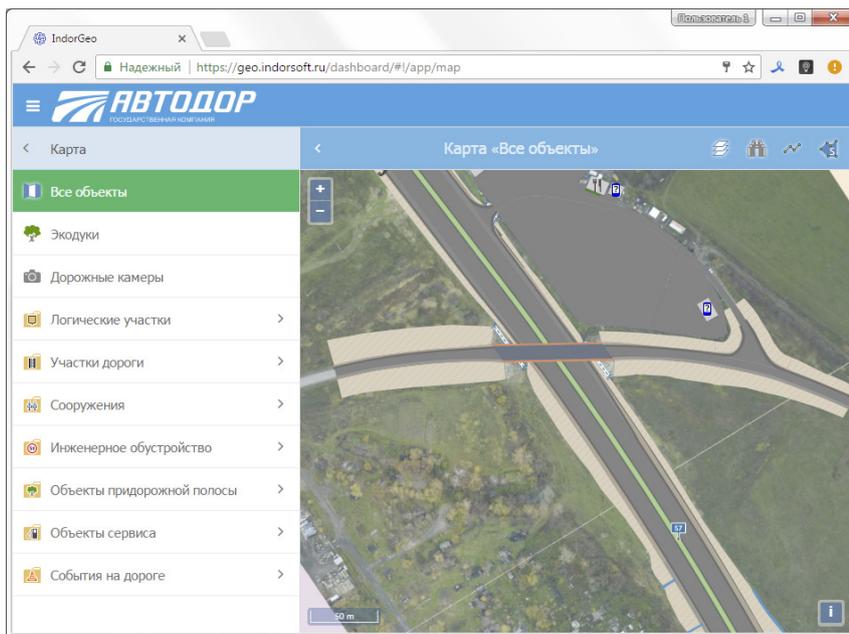


Рис. 5. Геопортал автомобильных дорог



Рис. 6. Модель Бью-Ричардса уровней зрелости BIM



Рис. 7. Трёхмерные карты для беспилотных транспортных средств

вился всё более требовательным к аппаратной платформе. Веб-решение является менее требовательным к ресурсам, более быстрым и позволяет получать доступ к рабочему месту ГИС со стационарных компьютеров, ноутбуков, планшетных компьютеров или мобильных устройств из любой точки, где есть доступ в интернет (при наличии логина и пароля). Удобно работать с ГИС, находясь непосредственно на дороге или в командировке вдали от рабочего компьютера.

Реализация геопортала автомобильных дорог на базе веб-технологий позволяет не только ускорить и сделать более удобной работу с ГИС для пользователей, но и повысить уровень BIM-зрелости.

Если обратиться к британским BIM-стандартам серии 1192, то мы увидим, что, в соответствии с моделью Бью-Ричардса [6], третий уровень зрелости iBIM (рис. 6) предполагает использование веб-систем для хранения и управления информационными моделями. Реализация и внедрение веб-ориентированной среды общих данных с предоставлением доступа по сети интернет (обязательна аутентификация по логину и паролю) выводит нас на новый уровень информационного моделирования. В свою очередь, Великобритания в планах на 2018 г. поставила цель достижения и широкого распространения BIM уровня 2.

Очевидно, что геoinформационная система автомобильных дорог содержит комплексную BIM-модель автомобильной дороги этапа эксплуатации, а также является средой общих данных, обеспечивающей совместную работу всех заинтересованных участников процесса, а веб-ориентированная ГИС позволяет достичь наивысшего уровня зрелости (в британской классификации) — iBIM.

Прогресс не стоит на месте и традиционный круг задач, которые можно решать с помощью ГИС, постоянно расширяется. Кроме общеизвестных функций, связанных с эксплуатацией автомобильных дорог, с которыми успешно справляются многие геoinформационные системы, таких как: паспортизация, подготовка линейных графиков и отчётов, аналитические функции, связанные с диагностикой и очагами аварийности и т.д., такой технически продвинутый инструмент дорожника уже сейчас имеет фунда-

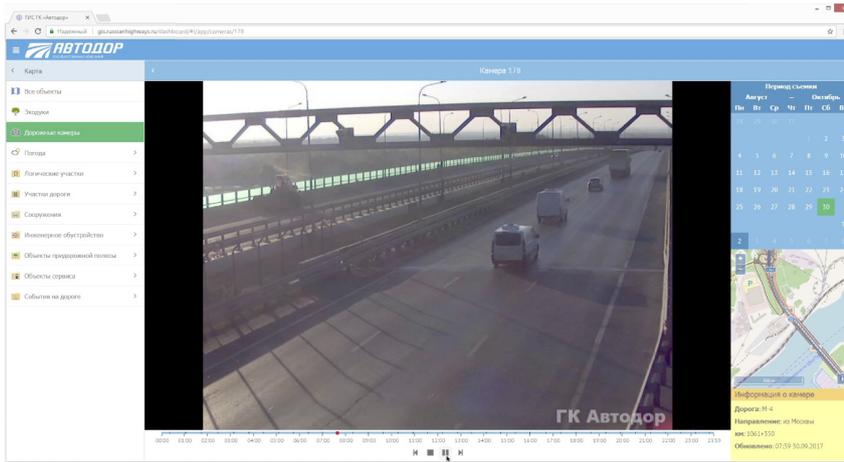


Рис. 8. Интеграция дорожных видеокамер в геопортал

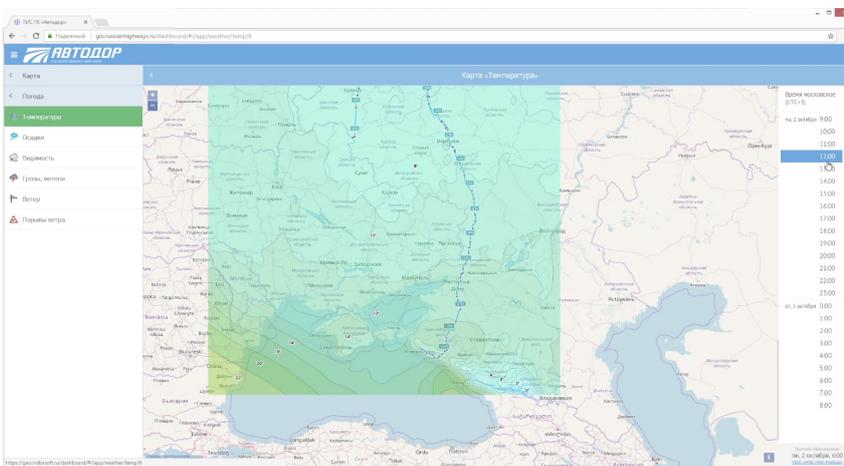


Рис. 9. Метеопрогнозы в геопортале

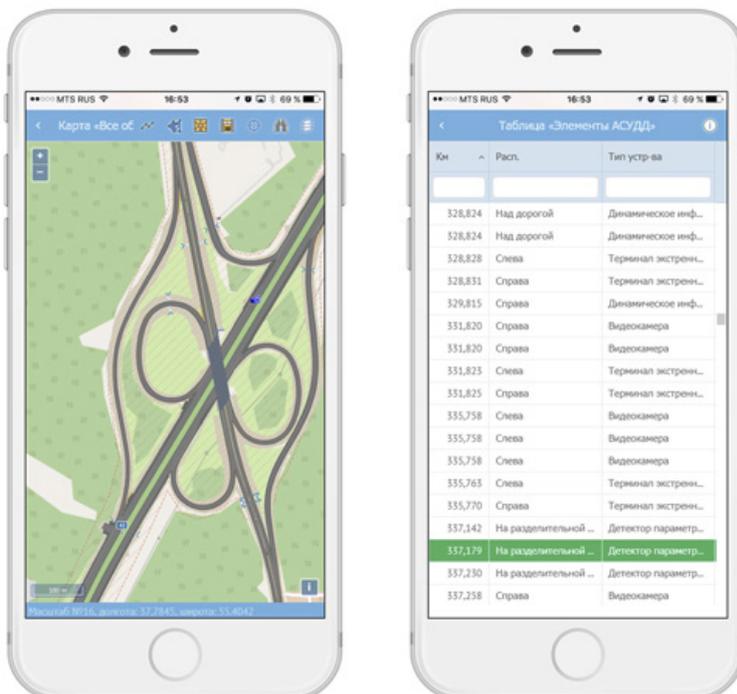


Рис. 10. Мобильное приложение ГИС

мент для инновационных направлений, которые рассмотрим ниже.

Важным и перспективным вариантом использования данных ГИС посредством веб-среды общих данных — геопортала — является предоставление трёхмерных карт субдециметровой точности (точностью не менее 10 см) для беспилотных транспортных средств (рис. 7). Уже сейчас многие автопроизводители ведут разработки в области роботизации и компьютерного зрения автомобилей, а органы управления дорожным хозяйством в лице государственной компании «Автодор» и Федерального дорожного агентства Росавтодор, в свою очередь, должны готовить инфраструктуру к взаимодействию с такими транспортными средствами, реализуя подход V2I (vehicle to infrastructure — автомобиль к инфраструктуре), и ГИС автомобильных дорог должен стать частью этой инфраструктуры.

Геопортал отлично реализует механизмы интеграции с другими системами. Уже реализована подгрузка данных публичной кадастровой карты Росреестра с помощью механизма Web Map Service (WMS) — протокола для выдачи географически привязанных изображений через интернет. Данные с дорожных видеокамер можно просматривать в ГИС (рис. 8) в режиме реального времени либо в виде архива изображений с меткой времени (в зависимости от реализации протокола предоставления данных видеокамерой). Данные с дорожных метеостанций обрабатываются, и в качестве результата инженеры-дорожники или рядовые пользователи автомобильных дорог могут получать метеопрогнозы на каждый час ближайших суток (рис. 9). Водители смогут лучше спланировать поездку и подготовить автомобиль к дальней дороге, а обслуживающие организации — более оперативно принять меры в случае чрезвычайных погодных условий.

Кроме представленных примеров интеграции, в архитектуру ГИС уже заложены механизмы, позволяющие реализовать взаимодействие со смежными ведомствами, такими как ГИБДД, Минтранс, а также с существующими порталами открытых данных. Ярким примером является информационный ресурс «БезопасныеДороги.РФ», разработанный Министерством



Рис. 11. Пункт ведомственной опорной геодезической сети

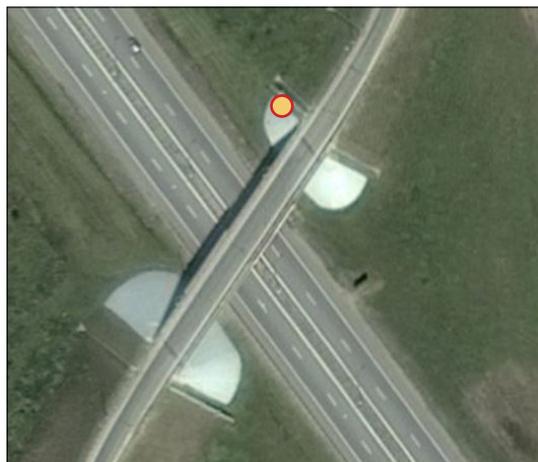


Рис. 12. Расположение пункта ВОГС



Рис. 13. Установка постоянно действующей GPS-антенны на 515 км автомобильной дороги М-4 «Дон»

Важным и перспективным вариантом использования данных ГИС... является предоставление трёхмерных карт субдециметровой точности (точностью не менее 10 см) для беспилотных транспортных средств.

связи и массовых коммуникаций Российской Федерации.

Но ГИС — это не только постоянно обновляющаяся база дорожных данных, установленная на серверах, но и программный комплекс для работы с ней (приложение, установленное на компьютерах инженеров-дорожников (рис. 1), геопортал (рис. 5) и разрабатываемое мобильное приложение (рис. 10) [7]). При создании ГИС закладываются пункты ведомственной опорной геодезической сети (ВОГС) (рис. 11), которые располагаются преимущественно на искусственных сооружениях (рис. 12) и также являются частью инфраструктуры. Использовать ведомственную опорную геодезическую сеть могут геодезисты, системы автоматизированного управления дорожно-строительной техникой, беспилотные транспортные средства для более точного позиционирования на дороге — потребуется взаимодействие с постоянно установленными антеннами GPS в режиме дифференциальной коррекции DGPS (Differential GPS) (рис. 13). Местоположение пунктов ВОГС также занесено в ГИС в виде отдельного слоя [8].

Таким образом, мы видим, что ГИС автомобильных дорог не только является веб-ориентированной средой общих данных, реализующей третий уровень зрелости — iBIM, но и значительно расширяет круг традиционных задач, ставшихся перед геоинформационными системами всего несколько лет назад. 

Литература:

1. Геоинформационные системы в дорожном хозяйстве: Справочная энциклопедия дорожника (СЭД) / А.В. Скворцов [и др.]. Т. VI. М.: ФГУП «Информавтодор», 2006. 372 с.
2. Баранник С.В. Обзор практических документов национального BIM-стандарта США NBIMS-US V3 // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2017. № 1(8). С. 4–8.
3. Скворцов А.В. BIM автомобильных дорог: оценка зрелости технологии // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. № 2(3). С. 12–20.
4. Баранник С.В. Обзор британских стандартов семейства PAS 1192 // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2016. № 1(6). С. 24–27.
5. Бойков В.Н., Баранник С.В., Кузовлев Е.Г. ГИС автомобильных дорог в контексте парадигмы информационного моделирования (BIM) // Дорожники. 2017. №3 (11). С. 66–69.
6. PAS 1192-2:2013 (рус.) // BIM-стандарты Англии и США на русском языке. URL: <http://bimstandart.ru> (дата обращения: 31.10.2017).
7. Росавтодор использует технологии «ИндорСофт» для работы с данными диагностики // Официальный сайт компании «ИндорСофт». URL: <http://indorsoft.ru/about/news/53944> (дата обращения: 02.11.2017).
8. Гулин В.Н., Миронов С.А. Обеспечение единого координатного пространства: привязка к государственной системе высот // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 2(5). С. 48–53.

# Программы для обработки данных лазерного сканирования местности

DOI: 10.17273/CADGIS.2017.2.2

Медведев В.И., руководитель отдела САПР ООО «ИндорСофт» (г. Томск)  
Райкова Л.С., системный аналитик ООО «ИндорСофт» (г. Томск)



*Рассматривается существующее многообразие программ, предназначенных для обработки облаков точек в масштабах местности — от демонстрационных утилит до сложных инженерных систем.*

## Введение

Лазерные сканеры успешно применяются уже несколько десятилетий в самых разных сферах — инженерных изысканиях, машиностроении, промышленной модернизации, архитектурной реставрации, дорожном строительстве, медицине. Ключевым преимуществом лазерного сканирования является максимальная детализация объекта, позволяющая принимать многие решения удалённо на основании только данных съёмки и таким образом экономить ресурсы, вплоть до удалённой работы вместо выезда специалистов на объект [1, 2].

Не является редкостью данная технология и в нашей стране: примерно с 2012 года на различных площадках активно обсуждаются потребности рынка, новые возможности, технологии, оборудование. И если поначалу проектировщики постоянно сталкивались с нехваткой необходимого инструментария для обработки результатов сканирования, а на тематических конференциях постоянно звучал вопрос: «Как сделать модель из облака точек?», сегодня для этих целей существует огромное количество программ, от небольших утилит до интеллектуальных систем с инновационными алгоритмами.

Обширный список программ можно найти даже в Википедии [3], и потому мы не будем повторяться и подробно описывать в статье поддерживаемые форматы данных, а ставим цель рассказать о сложившихся подходах, помочь читателю разобраться в огромном разнообразии программ и по возможности найти истоки этого разнообразия. В данной статье мы познакомим вас с основными идеями, приёмами и инструментами обработки облаков точек, реализованными в решениях зарубежного и отечественного рынка. Отдельное внимание мы уделим тем возможностям, которые будут полезны проектировщику автомобильных дорог.

Заранее оговоримся, что в зависимости от масштабов применения лазерной технологии принципиально различаются и сценарии обработки данных, и, соответственно, набор необходимых инструментов. Условно и очень грубо можно выделить два глобальных сценария. Первый — это *обратный инжиниринг*, применяемый в промышленности, архитектуре и медицине, где обычно идёт речь о построении меша либо сегментации и параметризации модели объекта с помощью примитивных форм [4, 5]. Второй сценарий — и это основная тема данной статьи — *создание цифровой модели местности (ЦММ)*. Здесь применяются в основном классификация и векторизация, а также постро-

ение триангуляции или меша в качестве модели рельефа. Такие этапы, как регистрация и анализ полученной модели, включая построение разрезов и проведение измерений, могут быть актуальны в любом случае.

Кроме того, съёмка местности может осуществляться различными способами, включая наземное, мобильное и воздушное лазерное сканирование, что также влияет на характер, масштаб и объём данных и, соответственно, инструменты обработки. Например, для мобильной и воздушной съёмки в формировании облаков точек и регистрации определяющую роль играет траектория ровера. Другой пример: моделирование зданий в воздушной съёмке всегда будет опираться на распознавание крыш, а при наземном и мобильном сканировании чаще придётся иметь дело с плоскостями стен.

## Терминология

Для ясности и краткости определим перевод некоторых устоявшихся в специализированной зарубежной литературе терминов.

- **Скан (scan)** — данные лазерной съёмки, полученные в результате одного сеанса сканирования, связанные одной системой координат.
- **Карта расстояний (range image, organized point cloud)** — изображение, содержащее дополнительную координату расстояния от камеры; иногда называется *организованным облаком точек* (имеется в виду матричная организация точек).
- **Регистрация (registration)** — объединение разных сканов в одно облако точек в единой системе координат; иногда называется *уравниванием*; следует различать с *импортом*.
- **Классификация (classification)** — назначение точкам облака атрибутивной информации в соответствии с типом объектов, которые они представляют; является формой представления результата *распознавания*. Также раскраска облака точек по классификации используется для лучшего зрительного восприятия данных.
- **Извлечение, векторизация<sup>1</sup> (extraction, vectorization)** — распознавание в облаке точек некоторой примитивной формы с последующей *параметризацией* (отрезок, плоскость, сфера, цилиндр) или сложной формы

<sup>1</sup> Термин «векторизация» неточен, поскольку исторически означает построение векторных объектов на основе отсканированного документа, представленного растровым изображением; в контексте лазерного сканирования исходные данные являются скорее векторными.

с последующим созданием объекта (ломаная, триангуляция, меш, сплайн).

- **Сегментация (segmentation)** — разбиение облака точек на ряд непересекающихся характерных областей, например, соответствующих примитивным формам (для дальнейшего извлечения) или типам объектов (подобно классификации). Реже означает разбиение на блоки для обработки больших объёмов данных.
- **Восстановление поверхности, создание меша (surface reconstruction, meshing)** — создание связанной модели поверхности по множеству точек, полученных на поверхности объекта или рельефе местности.
- **Цифровая модель рельефа, ЦМР (digital elevation model, DEM)** — цельная модель участка земляной поверхности в виде триангуляции или меша. Как правило, слова *рельеф* и *земля* выступают синонимами в контексте лазерного сканирования.
- **Цифровая модель местности, ЦММ (digital terrain model, DTM)** — модель местности, включающая в себя помимо модели рельефа объекты ситуации.
- **Меш (mesh)** — модель поверхности объёмного объекта в виде трёхмерной сетки из треугольников; может быть *замкнутым* (если объектом является тело, например цилиндр) либо иметь *внешнюю границу* (например, рельеф на участке местности).

### Группа 1: ПО от производителей лазерных сканеров

Крупные производители лазерных сканеров (Leica, FARO, Riegl, Trimble), как правило, выпускают не только оборудование, но и программное обеспечение для передачи, просмотра и обработки данных, полученных со сканеров. В большинстве своём такое ПО решает стандартные задачи управления данными лазерного сканирования (импорт, экспорт), позволяет просматривать полученные данные, а также выполнять их первичную обработку: регистрацию, уравнивание, фильтрацию и построение поверхностей [6]. Полученные облака и поверхности затем могут быть экспортирова-

ны в общепринятые форматы обмена данными (LAS, XYZ и пр.) и переданы для последующей обработки в сторонние программы.

Наравне с самостоятельными программными продуктами производители лазерных сканеров часто разрабатывают плагины для крупных САПР (AutoCAD, Revit, MicroStation), позволяющие проектировщикам работать с облаками точек, используя привычный интерфейс и инструменты САПР. Такие плагины, как правило, имеют более широкий спектр возможностей и позволяют выполнять классификацию точек, распознавать типовые 3D-объекты (линии, трубопроводы) и строить поперечные профили по заданному шаблону.

#### 1.1. Leica Cyclone 9 (Швейцария)

- Модульная структура программного обеспечения.
- Общий доступ к облакам точек по клиент-серверной технологии.
- Эмуляция процесса накопления топографических данных традиционными геодезическими приборами — «виртуальный топограф».
- Построение линий перелома по заранее заданным шаблонам.

Швейцарская компания Leica Geosystems, входящая в концерн Hexagon, является на сегодняшний день одним из крупнейших производителей оборудования для лазерного сканирования, геодезических изысканий и измерений. Для обработки данных лазерного сканирования она предоставляет целый комплекс модулей, объединённых в одной программной оболочке — Leica Cyclone. Набор модулей позво-

ляет выполнять полный цикл получения и обработки данных лазерного сканирования, начиная с управления процессом съёмки и регистрации облаков точек и заканчивая формированием 3D-моделей и выходных документов [7].

- Cyclone REGISTER и вышедшее в 2017 г. обновление REGISTER 360 — это модули, предназначенные для регистрации, т.е. сшивки облаков точек, снятых с нескольких точек сканирования, в единое облако точек в заданной системе координат. Регистрация возможна как по специальным визирным маркам различных форм и конфигураций, так и без них — посредством поиска связующих точек по общим характерным контурам в местах перекрытия отдельных сканов.
- Cyclone SURVEY содержит инструменты, необходимые геодезистам для документального сопровождения топографической съёмки: построение горизонталей, профилей и сечений, создание поверхностей в виде триангуляционных моделей, расчёт площадей и объёмов. Отдельно можно выделить инструмент Virtual Surveyor — «виртуальный топограф», — эмулирующий процесс накопления топографических данных традиционными геодезическими приборами, например тахеометром. Полученные данные (как правило, в текстовом формате) могут быть переданы в сторонние системы обработки геодезических данных.

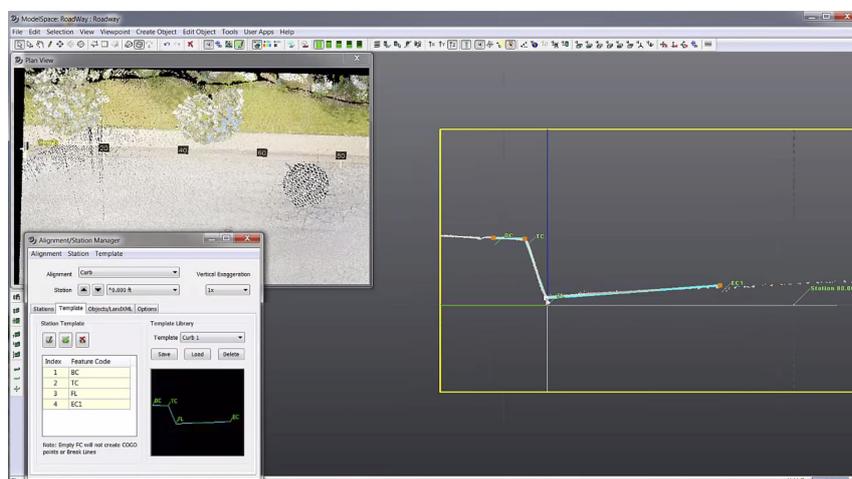


Рис. 1. Задание шаблона для распознавания линии перелома в Leica Cyclone

- Cyclone MODEL — расширенная версия Cyclone SURVEY, позволяющая формировать 3D-модели по облакам точек. В рамках проектирования дорог и искусственных сооружений полезными могут быть следующие функции.

- Построение линий перелома по заранее заданным шаблонам (рис. 1).

- Инструмент «умного» выделения, позволяющий с помощью специального окна просмотра выбирать точки под курсором по определённому критерию: ближайшие точки, точки с наименьшей или наибольшей высотной отметкой или точки земли. По выбранным точкам затем можно строить отрезки, ломаные и кривые. С помощью этого инструмента удобно строить линии верха и подошвы бордюра и прочие элементы дороги.

- Автоматическое получение контуров, сечений.
- Построение поверхностей как в виде мешей, так и в виде триангуляционной модели.

- В линейке продуктов Cyclone также рассмотрены вспомогательные модули, не предназначенные для обработки, но обеспечивающие просмотр и передачу данных лазерного сканирования (Cyclone BASIC, Cyclone IMPORTER) и общий доступ к облакам точек, моделям и прочим материалам сканирования по клиент-серверной технологии (Cyclone SERVER). Модуль Cyclone SERVER может также использоваться сторонними программами для обеспечения доступа к данным сканирования. Например, Cyclone SERVER используется для загрузки данных лазерного сканирования в САПР MicroSurvey CAD от компании MicroSurvey, которая, как и Leica Geosystems, является членом концерна Hexagon.

Демонстрационная версия доступна после регистрации на сайте разработчика.

### 1.2. Leica CloudWorx (Швейцария)

- Семейство плагинов для большинства крупных САПР.

- Автоматическое создание полилиний и дуг по указанным точкам.

- Распознавание трёхмерных объектов: трубопроводов и стальных конструкций.

Отдельно следует отметить ещё одно решение от компании Leica — семейство плагинов CloudWorx. Плагины доступны практически для всех крупных САПР: AutoCAD, Revit, MicroStation, Nawisworks, 3DReshaper, PDMS (Plant Design Management System) [8]. Функционал плагинов немного различается в зависимости от возможностей и назначения системы. Для примера рассмотрим возможности плагина CloudWorx для популярной САПР AutoCAD.

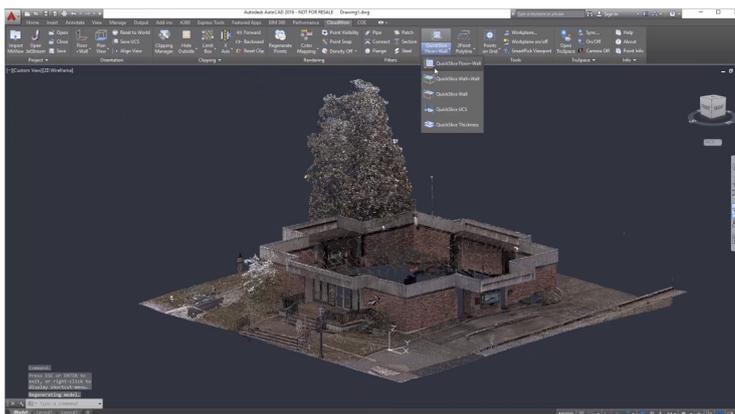


Рис. 2. Инструменты для построения срезов облака точек в CloudWorx для AutoCAD

Среди возможностей плагина можно выделить следующие.

- Быстрая навигация по большим облакам точек, построение сечений, срезов и обрезка облака точек (рис. 2).
- Инструменты автоматического создания 2D-полилиний и дуг по одной, двум или трём указанным точкам облака. Такими инструментами удобнее всего пользоваться в сочетании с возможностями по построению сечений — сначала строится сечение или срез облака, а затем по нему проводятся линии или кривые.
- Инструменты «умного» выделения точек лазерного сканирования по сетке и построения поверхностей по выбранным точкам.
- Инструмент автоматического распознавания 3D-моделей: труб, соединительных узлов, стальных конструкций — в основном актуален для распознавания трубопроводов, однако может быть применим и для работы с данными лазерного сканирования местности.

### 1.3. FARO Scene 7.1 (США)

- Регистрация и уравнивание облаков «на лету» в полевых условиях.

- «Умная» фильтрация и автоматическое удаление шумов.

- Просмотр облаков с помощью технологии виртуальной реальности.

Компания FARO Technologies, основанная в 1981 г. в США, на данный момент является одним из лидеров на рынке высокоточных приборов для метрологии, измерений и лазерного сканирования. Компания также разрабатывает программное обеспечение, позволяющее выполнять обработку данных лазерного сканирования, полученных с собственных сканеров — FARO Scene.

Платформа FARO Scene в основном предоставляет функционал для ускорения начальной обработки облаков точек, автоматизации и со-

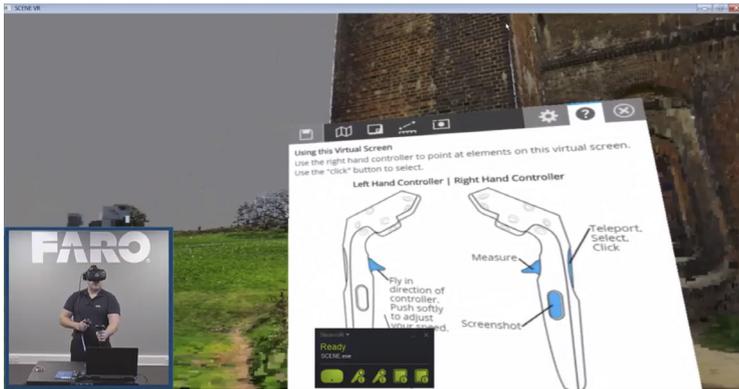


Рис. 3. Просмотр облака точек в виртуальной реальности в FARO Scene 7.1 Virtual Reality

крашения выполняемых вручную операций. Так, в выпущенной в 2017 г. версии FARO Scene 7.0 стала возможной регистрация облаков «на лету», то есть непосредственно в процессе съёмки на местности. Данные со сканера передаются по беспроводной сети на полевой ноутбук или компьютер, где выполняется уравнивание и регистрация сканов. Таким образом сокращается объём работ, выполняемых в камеральных условиях.

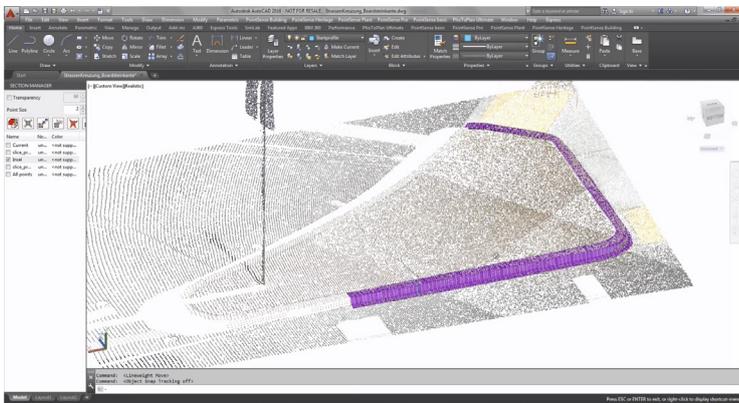


Рис. 4. Построение поперечных профилей по заданному шаблону с помощью FARO PointSense Pro

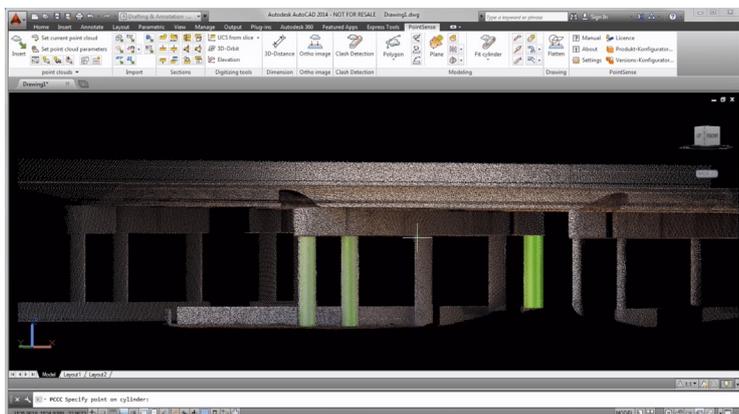


Рис. 5. Автоматическое распознавание цилиндров в FARO PointSense Pro

Сократить время обработки данных позволяют также возможности «умной» фильтрации облаков точек и удаления в автоматическом и полуполупри автоматическом режимах шумов, артефактов и прочих данных, не несущих значимой информации.

По полученным облакам можно быстро сформировать поверхность в виде триангуляционной модели или меша.

Кроме того, интересным симбиозом технологий выглядит возможность просмотра результатов лазерного сканирования с помощью очков виртуальной реальности. Такая возможность появилась в версии FARO Scene 7.1 Virtual Reality (VR) — в виртуальной реальности можно не только просматривать облака точек с наложенными детальными фотографическими текстурами, но также получать информацию по объектам, определять своё местоположение на карте и выполнять измерения в 3D (рис. 3).

Для того чтобы скачать пробную версию, необходимо зарегистрироваться на сайте компании-производителя. Кроме того, на сайте можно заказать демонстрацию любого программного продукта или оборудования FARO через интернет.

#### 1.4. FARO PointSense (США)

- Сравнение облака точек с исходной моделью объекта.
- Автоматическое создание поперечных профилей.
- Распознавание трёхмерных объектов по встроенным шаблонам.

Компания FARO также предоставляет плагин, позволяющий работать с облаками точек в САПР AutoCAD и Revit — FARO PointSense. Изначально решение PointSense разрабатывалось компанией Kubit, однако в 2015 г. Kubit была куплена компанией FARO, которая и продолжила развитие системы [9].

Плагин PointSense представлен на рынке в нескольких версиях: Plant (для промышленности), Building (для архитектуры и строительства) и Heritage (для работы с объектами культурного наследия). Помимо этого, существует универсальная версия Pro, объединяющая в себе возможности остальных версий.

PointSense Pro предполагает работу с уже предварительно обработанными — уравненными и геопривязанными — облаками точек. Плагин обеспечивает выполнение всех операций, обязательных для такого рода программ: построение сечений и срезов, выполнение измерений, формирование поверхности (в виде триангуляции) и вычисление объёмов. Предусмотрена также «умная» привязка к линиям перелома, углам и краям объектов.

Также в PointSense Pro реализован ряд интересных функций, которые могут быть применимы в дорожном проектировании. Среди них можно выделить следующие.

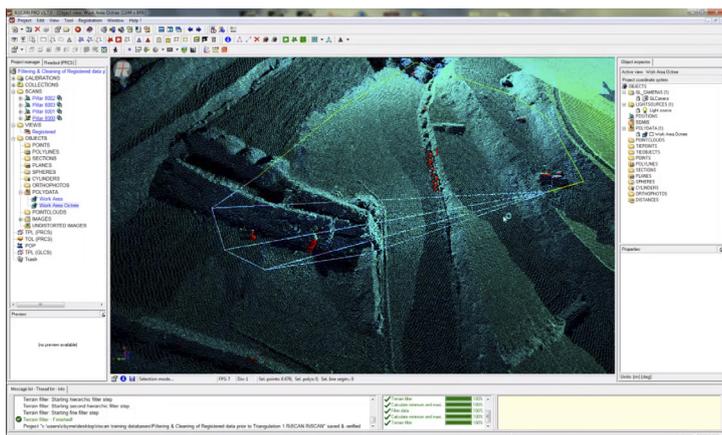


Рис. 6. Фильтрация облаков точек в RiScan Pro

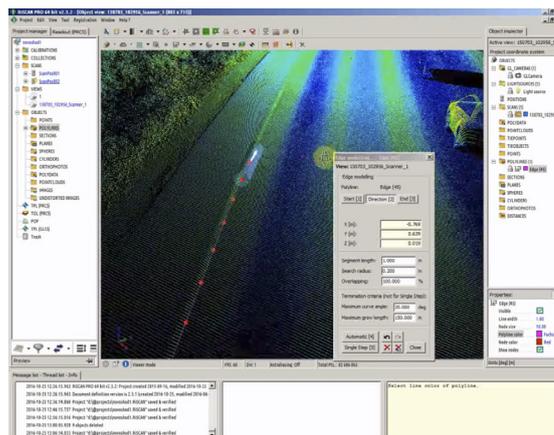


Рис. 7. Автоматическое распознавание линии края дороги по бордюру в RiScan Pro

- Автоматическое создание поперечных профилей — по заранее заданному шаблону и оси трасы система создаёт поперечные профили и формирует по ним поверхность (рис. 4).
- Анализ деформации и повреждений путём сравнения облака точек и исходной модели и визуализация отличий в виде карты высот.
- Распознавание 3D-элементов по заданным шаблонам (рис. 5).
- Обнаружение коллизий проектируемых моделей и облака точек.

### 1.5. Решения от Riegl (RiScan Pro, RiProcess) (Австрия)

- Отдельные продукты для обработки данных наземного и мобильного сканирования.
- Автоматическое распознавание бордюров.
- Создание геометрических объектов по точкам лазерного сканирования.

Компания Riegl наряду с вышеперечисленными Leica Geosystems и FARO Technologies является одной из крупнейших компаний, выпускающих оборудование для лазерного сканирования. Компания предлагает инженерам несколько линеек лазерных сканеров (наземных, мобильных и воздушных), а также линейку ПО, позволяющего управлять процессом сканирования, выполнять анализ и первичную обработку данных, полученных в результате различных способов сканирования.

Так как процесс мобильного лазерного сканирования имеет свои особенности, для обработки, анализа и визуализации данных мобильного и воздушного лазерного сканирования предусмотрена отдельная система — RiProcess. По сути, она представляет собой набор следующих модулей.

- RiAcquire — служит для управления процессом мобильного лазерного сканирования и получения данных сканирования.
- RiAnalyze — применяется для воздушного лазерного сканирования; помимо управления

процессом сбора данных она выполняет анализ поступающего сигнала и пересчёт геометрических данных в прямоугольную систему координат.

- RiSolve — выполняет регистрацию облаков точек и раскрашивание в истинные цвета.
- RiWorld — выполняет объединение данных лазерного сканирования и данных траектории, координатное преобразование данных, привязку к географическим координатам.

На выходе получаются облака точек в координатах WGS84 или UTM. Эти облака затем можно передать в систему RiScan для дальнейшей обработки. Система RiScan также применяется для обработки данных наземного лазерного сканирования.

Среди возможностей системы можно выделить следующие.

- Регистрация сканов на основе точек привязки и контрольных точек, ручная регистрация (вращение и перемещение сканов вручную), а также автоматическая регистрация на основе данных интегрированного GPS-приёмника, датчиков наклона и компаса сканера.
- Фильтрация точек по диапазону плотности, интерполяция недостающих точек из смежных данных (рис. 6).
- Построение поверхностей и наложение текстуры, созданной на основе фотоснимков высокого разрешения.
- Автоматическое создание линий края дорожного покрытия по бордюроному камню (рис. 7).
- Создание различных геометрических объектов по точкам лазерного сканирования: точек, линий, цилиндров, плоскостей.

Скачать пробные версии программных продуктов Riegl можно на сайте компании. Для этого необходима предварительная регистрация.

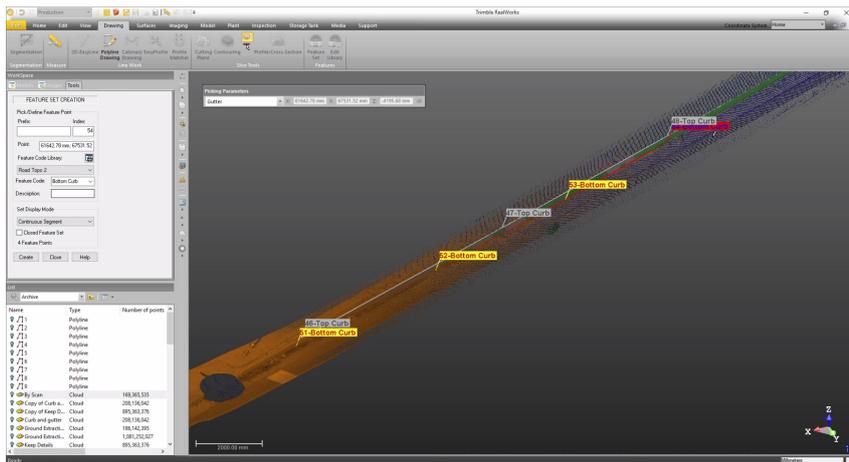


Рис. 8. Привязка к точкам верха и низа бордюра в RealWorx

### 1.6. Trimble RealWorx 10.4 (США)

■ «Умная» привязка к линиям верха и низа бордюра.

■ Отдельный модуль для трёхмерного моделирования объектов.

■ Сравнение объектов съёмки с их моделями и выявление отклонений.

Американская компания Trimble Navigation специализируется на производстве геодезического оборудования, спутниковых приёмников и лазерных сканеров, а также разрабатывает программное обеспечение для обработки данных лазерного сканирования — систему Trimble RealWorx.

Система предоставляет все необходимые функции по управлению, просмотру и первичной обработке данных. Разработчики заявляют, что RealWorx позволяет эффективно работать с очень большими объёмами

данных благодаря режиму частичной загрузки данных.

- Выполнение регистрации сканов в полностью автоматическом режиме (как с помощью марок, так и по характерным точкам), оценке качества привязки по маркам и формированию отчётов о сшивке сканов.
- Выполнение интеллектуальных измерений, полуавтоматической очистки, построение сечений и срезов.
- «Умная» привязка, позволяющая привязываться к точкам с наибольшей и наименьшей высотной отметкой, верху и низу бордюра (рис. 8).
- Формирование поверхности по облаку точек в виде триангуляции и подсчёт объёмов.

- Инспектирование — количественный анализ, картирование и визуализация отклонений между объектами съёмки. Эта функция используется для сравнения данных сканирования с проектом или для выявления изменений геометрии объекта с течением времени.

Кроме того, существует комплектация системы, включающая модуль Modeling, позволяющий строить на основании точек лазерного сканирования различные трёхмерные геометрические формы: цилиндры, конусы, плоскости. Основная сфера применения модуля — моделирование технологических комплексов для создания проектной документации, контроля и модернизации существующего оборудования.

Скачать демонстрационную версию RealWorx можно на сайте компании-разработчика.

### Группа 2: независимые решения

Во второй группе собраны самостоятельные программы, представленные как «старожилом» рынка Terrasolid, так и множеством более молодых, но очень амбициозных разработок, а также плагины, написанные для больших САПР независимыми командами. Все эти программы изначально создавались именно для обработки лазерных данных, причём без привязки к конкретной сканирующей аппаратуре. Таким образом, разработчики были вольны сами определять интересные отрасли, круг задач и, соответственно, инструментарий, который позволил бы все эти задачи эффективно решать.

#### 2.1. Terrasolid TerraScan для Microstation (Финляндия)

Компания Terrasolid, официально зарегистрированная в 2012 г. в Финляндии, на самом деле занимается разработкой ПО для обработки изысканий ещё с 1995 г., а сегодня наиболее известна как разработчик программного комплекса Terrasolid, ориентированного на обработку данных мобильного и воздушного лазерного сканирования. Комплекс включает множество MDL-плагинов для платформы Bentley Microstation с приставкой «Терра» в названии. Среди них особо полюбились отечествен-

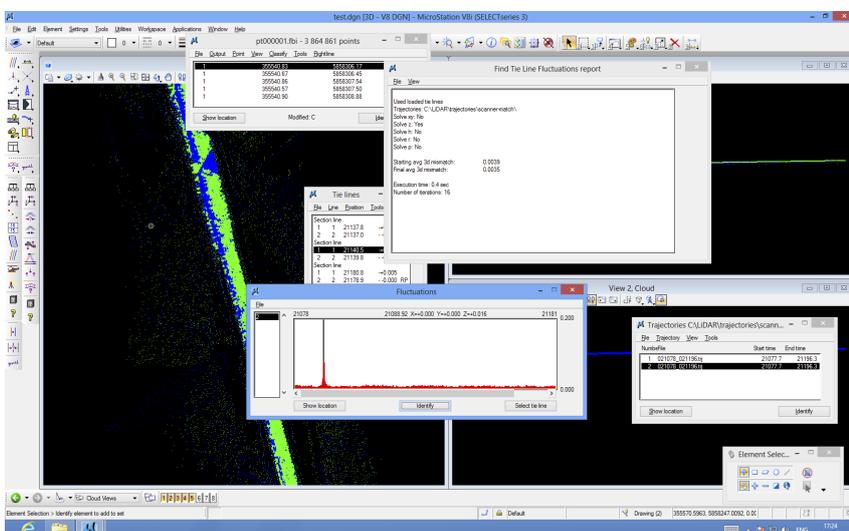


Рис. 9. Процесс уравнивания (регистрации) сканов мобильной лазерной съёмки в TerraMatch

ным пользователям TerraScan для классификации и моделирования на основе данных лазерных изысканий и TerraMatch для уравнивания фрагментов съёмки.

Пользовательский интерфейс каждой из программ представлен одной инструментальной панелью с несколькими вложенными группами команд. Для каждой команды открывается своё плавающее окно, и при реальной работе общее количество открытых окон, не считая видовых, может сбить с толку (рис. 9). Учитывая, что у каждого окна также есть свои меню и команды, становится тяжело запомнить, где именно находится нужная в данный момент функция.

Плагин TerraMatch позволяет уравнивать облака одним из стандартных способов: по форме (find match) или по точкам соответствия и специальными меткам (find tie lines). В любом варианте есть особенности, призванные учесть специфику данных мобильного и воздушного лазерного сканирования и делающие программу в своём роде уникальной. Первая: коррекция выполняется не для сканов напрямую, а для точек траектории ровера, поскольку точки облака являются производными по отношению к траектории съёмки [10]. Вторая особенность заключается в возможности локального уравнивания на каждом участке линейно-протяжённых сканов (find fluctuations) для тех случаев, когда точки траектории имеют большие ошибки на отдельных участках, например, из-за крон деревьев над дорогой, мешающих качественному приёму ГНСС-сигнала.

Работа в TerraScan выполняется по следующему сценарию. Первым делом создаётся проект и настраиваются системы координат, форматы входных и выходных данных, а также профили лазерных сканеров. Отдельно следует отметить, что для оптимизации вычислений система работает с целочисленными координатами (до 10 значащих цифр в числе), поэтому при работе с большими координатами (миллионы метров — это 7 цифр) и миллиметровой точностью (ещё 3 цифры) приходится аккуратно выставлять центр координат, иначе часть выпадающих точек будет проигнорирована.

На втором этапе импортируются облака точек и траектории. Сначала выполняется быстрый импорт сильно прореженного облака точек, производится визуальная оценка и проверка адекватности данных. Затем полный — облако разбивается на невидимые блоки, которые подгружаются в оперативную память только при необходимости.

Третий этап — это обработка данных, которая применяется поблочно. Среди команд обработки доступна классификация земли, точек-выбросов, зданий, растительности, характерных точек, наконец, сглаживание, прореживание и экспорт. Предусмотрена пакетная обработка: достаточно один раз написать макрос, включающий десятки предварительно настроенных команд, и затем применять его к очередному проекту.

В целом программный комплекс Terrasolid обладает серьёзным потенциалом для обработки большого объёма реальных данных лазерного

сканирования, однако отталкивает дороговизной, запутанным графическим интерфейсом, необходимостью совершения множества подготовительных действий и некоторой архаичностью.

Для ознакомления с продукцией Terrasolid необходимо сначала получить 14-дневную демоверсию системы Microstation, оставив запрос с указанной электронной почтой на сайте Bentley, далее установить интересующие плагины с сайта Terrasolid, при первом запуске заполнить регистрационную форму и дождаться одобрения заявки, при этом условия пробного периода заранее неизвестны.

## 2.2. Technodigit 3DReshaper 2017 (Франция)

Серию молодых программ в нашем обзоре открывает приложение 3DReshaper, созданное в 2005 г. для выполнения 3D-изысканий с применением современной измерительной и сканирующей аппаратуры. Разработчиком является французская компания Technodigit, которая с 2009 г. входит в мировой концерн Hexagon. Программа поставляется как самостоятельное приложение с различными расширениями, в качестве плагина для САПР, а также как условно-бесплатная библиотека с SDK для встраивания в другие САПР-платформы.

Программа имеет достаточно простой пользовательский интерфейс (рис. 10): основное окно является рабочим 3D-видом, в верхней части окна расположена ленточная панель инструментов, а все настройки и действия для текущей команды отображаются на форме слева.

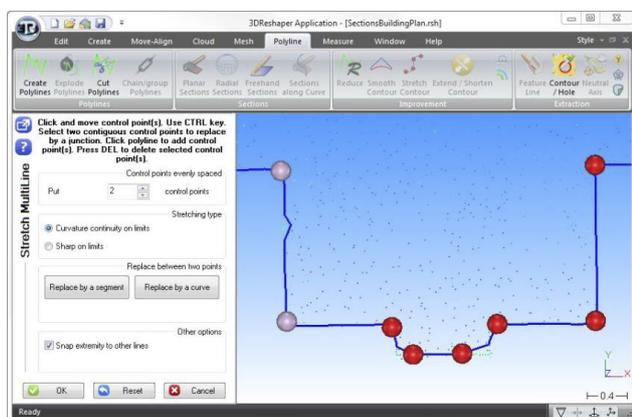


Рис. 10. Извлечение контура здания методом натяжения нити в 3DReshaper

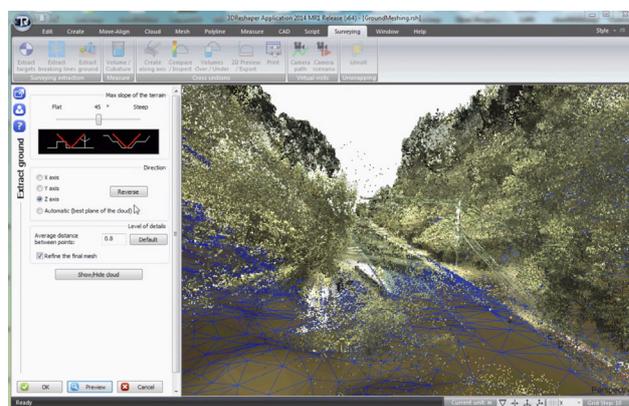


Рис. 11. ЦМР, подготовленная в 3DReshaper с помощью модуля Surveying

Рабочий процесс в 3DReshaper выглядит следующим образом: выполняем или импортируем измерения, на их основе формируем и улучшаем меш, который затем анализируем или экспортируем. Тем не менее в базовой версии программы есть множество инструментов для работы непосредственно с облаками точек.

- Импорт/экспорт облаков точек в большинстве известных форматов (CSV, XYZ, LAS и другие).
- Регистрация со взаимной увязкой по геометрии или специальным меткам (вкладка Move-Align).
- Ручное и автоматическое выделение точек для удаления, раскраска, удаление точек-выбросов, разбиение на подоблака (вкладка Cloud).
- Распознавание в облаке примитивов, плоских контуров, сравнение облака с мешем (вкладка Measure).
- Команды для построения сечений по мешу или облаку точек, удобной обводки линиями (например, план здания); автоматизированное распознавание линии изгиба поверхности (feature line), линий по обе стороны от изгиба (border lines), а также линии, воссоздающей острое ребро (fictive line) — такие операции особенно удобны для воссоздания архитектурных форм (вкладка Polyline).

Вкладка Mesh позволяет создать меш по облаку точек с опциональным удалением точек-выбросов, заполнением пробелов и созданием замкнутого тела по одному из предложенных сценариев.

- Регулярная выборка: на облако накладывается сетка, в каждой ячейке которой для меша выбирается наиболее характерная точка. Недостатком метода является компромисс между недостаточной детализацией участков сложной формы и избыточной детализацией относительно плоских участков.
- Двухэтапный алгоритм: сначала строится грубый регулярный меш, в который для детализации добавляются характерные точки из числа исходных (если измерения точные) либо интерполированных точек облака (если данные зашумлены).

Однако этим возможности программы не ограничиваются. Так, для

подготовки модели местности предназначен отдельный плагин Surveying (рис. 11), позволяющий создать меш земляной поверхности, автоматически распознать линии перелома поверхности, построить ряд сечений и измерить отметки и объёмы относительно заданной модели.

Есть и другие специализированные плагины, например Dental для медицинских и CAD для промышленных целей. Если и этих функций окажется недостаточно, разработчики предлагают использовать плагин Script для написания собственных команд и макросов.

На официальном сайте доступна 30-дневная пробная версия, в которой ограничено количество сохранений. Для получения активационного кода необходимо отправить запрос.

### 2.3. VirtualGrid VRMesh 9.5 (США)

- Широкий функционал для обратного инжиниринга и изысканий на местности.
- Встроенные макросы для пакетной обработки.
- 30-дневная пробная версия, документация в файле, отзывчивая техподдержка.

По информации с официального сайта, первая версия программного продукта VRMesh увидела свет в 2004 г. и предназначалась для эскизного 3D-моделирования [11]. Уже через год появилась возможность работы с облаками точек, а сегодня программа предлагает практически полный инструментарий для обработки данных лазерного сканирования, в том числе для целей дорожного строительства.

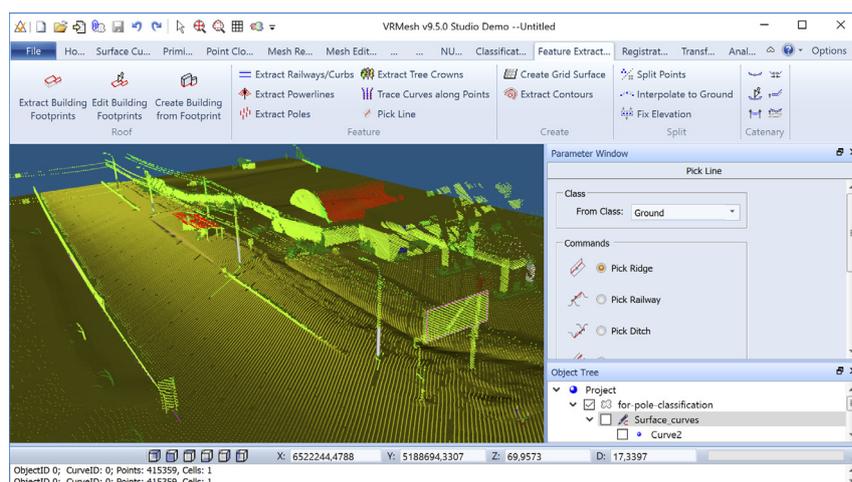


Рис. 12. Классифицированное облако точек, построенная ЦМР, распознанные опоры освещения и рекламный щит в VRMesh 9.5

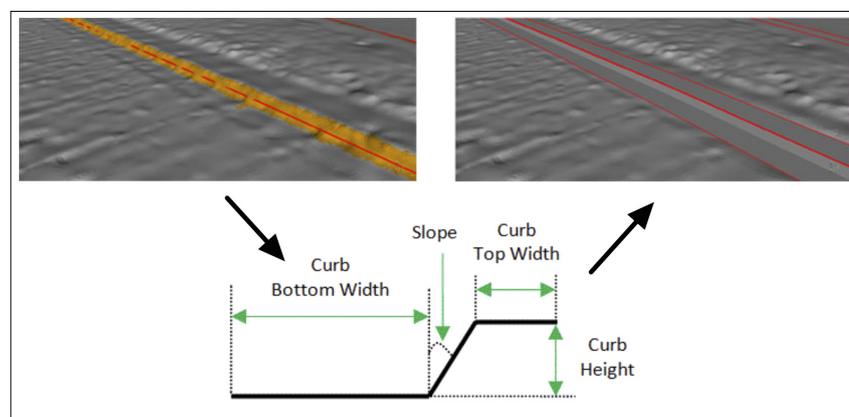


Рис. 13. Врезка модели бордюра в меш с помощью инструмента Fit curbs в программе VRMesh

Программа написана на языке C++ с использованием кроссплатформенного фреймворка Qt и библиотеки визуализации VTK, но выпускается только для ОС Windows. Главное меню VRMesh выполнено в современном ленточном стиле и содержит очень большое количество закладок и команд (рис. 12). В центральной части расположен рабочий 3D-вид, справа — настройки текущей команды и дерево проекта.

Существует три варианта поставки программы: Reverse, Survey и Studio. Конфигурация Reverse предназначена для обратного инжиниринга и содержит всё необходимое для меш-моделирования, от регистрации сканов с удалением шума до текстурирования. В конфигурации Survey, напротив, упор сделан на операции, полезные для обработки изысканий на местности, то есть распознавание объектов и классификацию. Наконец, вариант Studio объединяет все возможные функции в одной программе.

При импорте больших облаков выполняется разбиение на блоки и создание поисковых индексов, которые сохраняются в файле собственного формата PCP. Программа автоматически определяет, являются ли данные съёмкой местности, и предлагает оптимизировать поисковые индексы в зависимости от типа съёмки: в этом случае исключается разбиение по Z-координате. Небольшие облака можно подгружать напрямую в оперативную память.

В зависимости от конфигурации будут различаться и сценарии работы. Первый вариант — через построение меша, в том числе для создания ЦМР. Для удобства огромное разнообразие необходимых команд оформлено в виде пакетных операций. *Мастер построения сетки* (Point cloud to mesh wizard) поможет настроить и применить в правильном порядке прореживание и устранение шума в облаке, создание сетки, удаление островных частей, упрощение сетки, склейку швов, заполнение пробелов и фьордов (протяжённых разрывов поверхности), проверку нормалей и сглаживание. Присутствует адаптация для создания меша по данным традиционной геодезической съёмки. Другая пакетная операция — *мастер анализа и исправления сетки* (Mesh analysis wizard) — позволяет обнаружить и при

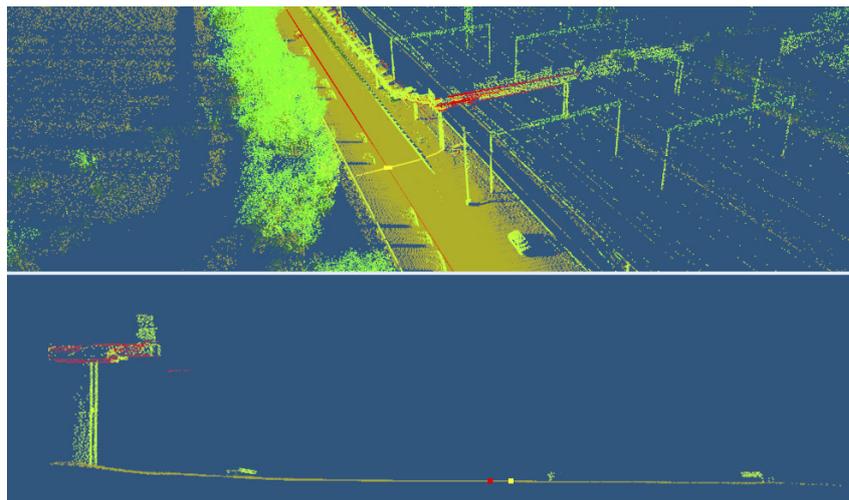


Рис. 14. Уточнение положения узла осевой линии в поперечном разрезе в VRMesh

необходимости исправить возможные ошибки в структуре меша, такие как граничные и короткие рёбра, рёбра с третьей гранью, сложенные, перекрывающиеся, перевёрнутые, острые и длинные треугольники, целые части сетки с избыточными связями.

Полученный меш можно далее разрезать, склеивать, выполнять над ним логические операции, сглаживать, упрощать, уплотнять, делать фаски и острые грани, добавлять поверхности заметания (вкладка Mesh editing); также доступны популярные среди 3D-художников приёмы лепки (вкладка Clay). Наконец, в меше можно выделять области интереса с помощью кисти и затем применять перечисленные операции только к помеченным областям или распознавать локально линии и контуры, создавать текстуры (вкладка Mark). Здесь отдельного внимания заслуживает многоэтапная команда подгонки бордюра по сетке (Fit curbs): сначала по уклону выявляются и помечаются области бордюров, которые можно подправить вручную, а затем для каждого объекта в соответствии с настройками создаются четыре линии, образующие поверхность бордюра (рис. 13).

Второй сценарий работы в VRMesh предполагает взаимодействие напрямую с облаком точек. Отличия конфигурации Survey проявляются уже на этапе регистрации: здесь можно импортировать траекторию ровера, чтобы разбить исходное облако на отдельные сканы (Separate LiDAR strips),

которые уравниваются уже общими командами ручной или автоматической регистрации (применяется поиск перекрывающихся областей и метод наименьших квадратов).

Обработку облака точек удобнее выполнять с помощью пакетной операции под названием *мастер изысканий* (Survey wizard), где перечислены команды классификации растительности, крыш зданий, точек рельефа, точек над рельефом, изолированных точек, плоской дорожной поверхности и другие, а также автоматической векторизации зданий, рельс, бордюров, линий электропередачи, опор, крон деревьев, выделенных полос точек. Отдельно следует отметить возможность классификации по данным фотосъёмки, построение регулярной сетки или изоконтуров в качестве упрощённой ЦМР (Create grid surface).

Извлечение линии в полуавтоматическом режиме выполняется в один клик мыши по одному из шаблонов (Pick line): хребет, рельса, канава, дорожная разметка, опора, ЛЭП. Точная оцифровка линий дороги обычно выполняется с помощью специальных *цепных линий* (Catenary string). При этом открывается окно разреза, где можно уточнять положение отдельных узлов линии кликом мыши, а навигация осуществляется с помощью колеса мыши или в окне плана (рис. 14).

Практически все команды векторизации создают двумерные формы, такие как линии и окружности. Например, при автоматическом поиске опор освещения создаются не

цилиндры, а только вертикальные отрезки. Однако после этого можно применить команду классификации по тоннелю (Classify by tunnel), чтобы выделить точки опоры в отдельный класс. Далее можно в полуавтоматическом режиме построить по выделенным точкам и сам цилиндр. Подобным образом можно классифицировать точки на заданном удалении от линии или соответствующие произвольной форме.

После всех построений можно измерять углы, длины, площади, объёмы, отклонения и интервалы, в том числе работая в сечениях, построенных с заданным шагом, выгружать отчёты измерений в PDF; выполнять раскраску меша или облака точек по критериям кривизны, уклона, толщины слоя и другим (вкладка Analyze).

Из недостатков программы можно отметить «капризный» импорт, который не принимает кириллические имена файлов, а в случае с текстовым файлом предлагает на выбор строго определённые наборы полей, а также не совсем удобные инструменты для работы в разрезах. Кроме того, пакетные операции склонны создавать копию облака точек, из-за чего рабочая папка быстро наполняется множеством тяжёлых PCP-файлов.

Для любой конфигурации программы доступна 30-дневная демоверсия, в которой запрещены функции экспорта. Для скачивания пробной версии достаточно указать электронный адрес.

## 2.4. GeoPlus VisionLidar 2018 (Канада)

- Развитые возможности для изысканий и трассирования, удобная работа в сечениях.
- Новаторский подход к классификации с помощью кластеризации.
- Дополнительные специальные возможности для воздушной и мобильной лазерного сканирования.
- Бессрочная пробная версия, онлайн-документация.

Канадская компания GeoPlus ведёт свою историю с 1987 г. и известна программными решениями для землеустройства и гражданского строительства. Совсем недавно компания выпустила новый продукт VisionLidar, призванный восполнить пробел, который образовался в связи с появлением массивных лазерных данных, включая

воздушную, наземную и мобильную съёмки. Сегодня программа уже нашла успешное применение в муниципальных и частных организациях Канады и других стран.

Программа VisionLidar написана на языке C++ с использованием кроссплатформенной библиотеки OSG. Имеет простой на первый взгляд пользовательский интерфейс, выполненный в классическом стиле (рис. 15). Узкая панель инструментов содержит базовые команды управления проектом, навигации, выполнения измерений и трансформации. Основные же действия и команды доступны через системное меню. Однако структура меню не имеет стройной логики, кроме того, многие команды представлены более сложными окнами с множеством параметров и таблицами, и в таких случаях приходится обращаться к онлайн-документации.

Модель проекта содержит облака точек, а также векторные объекты, включая поверхности, точки, линии, трассы, профили и примитивы. При импорте для каждого облака точек создаются файл данных в собственном формате VPC, файл с поисковым индексом VPI, а также ряд последовательно упрощённых облаков в виде пар файлов VPC и VPI для быстрого отображения на экране. Векторные объекты хранятся в базе данных под управлением Microsoft Access (MDB) или SQLite. Управление видимостью отдельных классов точек, типов и элементов осуществляется с помощью окна Explorer.

Полностью автоматической обработке облака служат команды меню Analyze: классификация точек земли, зданий, растительности и шума (под шумом в программе понимаются точки-выбросы); распознавание пло-

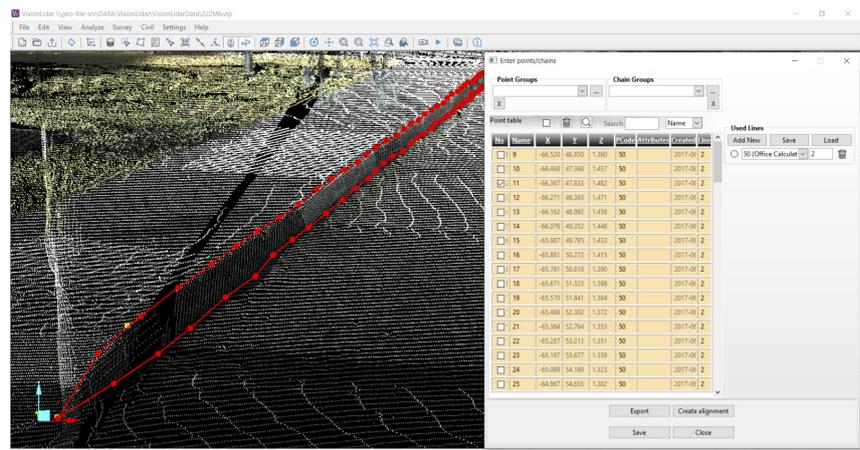


Рис. 15. Результат автоматизированного распознавания верхней и нижней кромки бордюра в VisionLidar

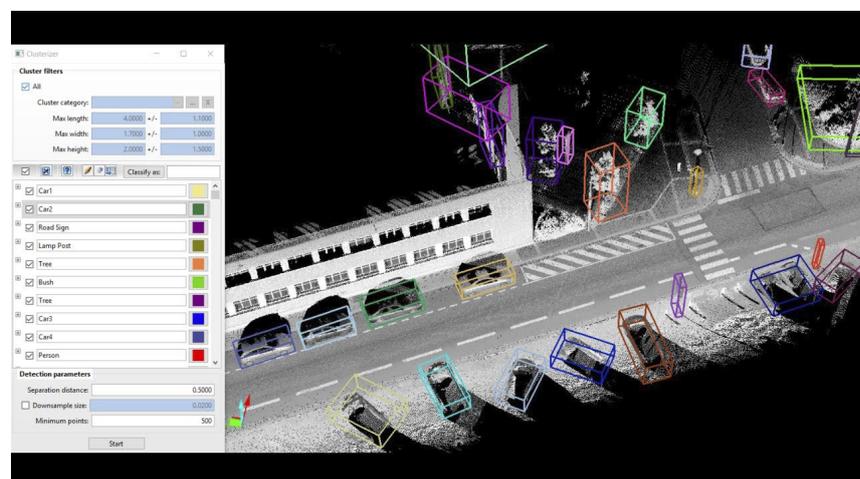


Рис. 16. Кластеризация дорожных объектов в облаке точек в VisionLidar

скостей, цилиндров и деревьев по заданным параметрам (дерево рассматривается как цилиндр-ствол и сфера- или конус-крона). Здесь же запускается вычисление нормалей, сравнение сканов, виды продольных (Profile) и поперечных (Section) разрезов по существующим линиям или произвольно указанным отрезкам. За формирование ЦМР отвечает команда Ground: сначала по точкам с локально минимальной Z-координатой создаётся триангуляция поверхности, а уже по ней с заданным допуском классифицируются точки земли.

Отдельного внимания заслуживает кластеризатор (рис. 16), позволяющий выделить группы точек, соответствующие заданному шаблону по габаритам и допускам, например автомобилю. Таким образом, настроив шаблоны, можно успешно классифицировать самые разные объекты, например автомобили, деревья, дорожные знаки. При этом программа рекомендует скрыть точки земли как нежелательные. В демонстрационных материалах утверждается о применении в алгоритме кластеризации искусственного интеллекта.

Инженерные изыскания выполняются с помощью пункта меню Survey. Команды данного меню позволяют в ручном режиме распознавать точки и линии с заданной семантикой, полуавтоматически распознавать дорожную разметку (по интенсивности отражённого луча лазера) и кромки бордюра (по геометрии). На основе любой созданной линии можно создать трассу (Alignment) — плавно сопряжённую линию в плане, которую далее можно использовать для построения продольных и поперечных сечений, задания траектории пролёта камеры. Результаты всех изысканий сохраняются в базе данных.

Наконец, меню Civil открывает доступ к модулю для гражданского строительства. Здесь объединены функции, не требующие полной загрузки облака точек в проект. Во-первых, это редактор поверхностей, объединяющий данные по поверхностям и трассам, а также инструменты построения сечений поверхностей, задания контуров, сеток и вычисления объёмов между слоями. Во-вторых, это инструменты, адаптированные для обработки воздушной или мобильной лазерной съёмки: в первом случае можно распознавать крыши зданий и добавлять точки в поверхность, а из сырых мобильных данных можно извлекать дорожную разметку. Наконец, ещё одна возможность модуля Civil — это редактор твердотельных моделей, позволяющий создать меш или тетраэдризацию по облаку точек, к сожалению, на данный момент явно непроработанный.

В целом, несмотря на новизну и кажущуюся простоту, программа обладает внушительным функционалом для обработки облаков точек и предлагает ряд интересных уникальных решений. Среди недостатков обратим внимание на

не очень удачные решения в части интерфейса табличных редакторов, в частности отсутствие интерактивности, работы с моделью напрямую в редакторе, а не через архаичные таблицы, по-видимому, заимствованные из старых геодезических решений компании.

Платная версия программы предлагается в трёх вариантах: Standard, Premium и Ultimate. Стандартная версия помимо совсем базовых включает функции регистрации, классификации, построения триангуляции и меша. Конфигурация Premium отличается возможностью работы с отдельными точками, наличием инструментов распознавания, вычисления объёмов земляных работ, моделирования дорог и тоннелей. Наконец, самая полная версия Ultimate поддерживает пересчёты между геодезическими системами координат, импорт из текстовых файлов, трёхмерные трассы и другое.

Также доступна пробная версия VisionLidar LTD, для получения которой необходимо заполнить форму, ссылка мгновенно придёт на указанный почтовый адрес. Пробная версия является бессрочной, однако в ней недоступны функции сохранения и экспорта данных.

## 2.5. Certainty 3D TopoDOT для Microstation (США)

- Большой набор инструментов для восстановления поверхности дороги.
- Моделирование трёхмерных объектов с помощью «умных ячеек».
- Оценка коллизий и прохождения транспортных средств.

Американская компания Certainty 3D разрабатывает мобильные приложения TopoPlanner и TopoMission, позволяющие управлять проектами лазерного сканирования, выполнять их планирование и оценку, аппаратное обеспечение TopoLift, оптимизирующее процесс сканирования, а также мощную систему для обработки данных лазерного сканирования — TopoDOT.

Программа TopoDOT имеет достаточно простой интерфейс, не перегруженный лишними меню. В рабочей области можно открыть сразу

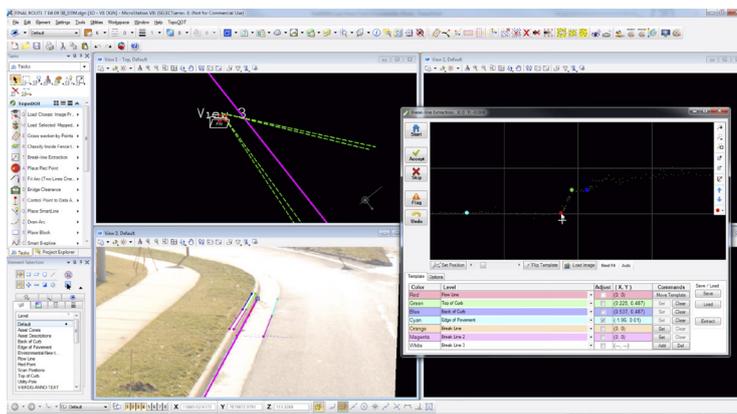


Рис. 17. Распознавание линий дороги в TopoDOT

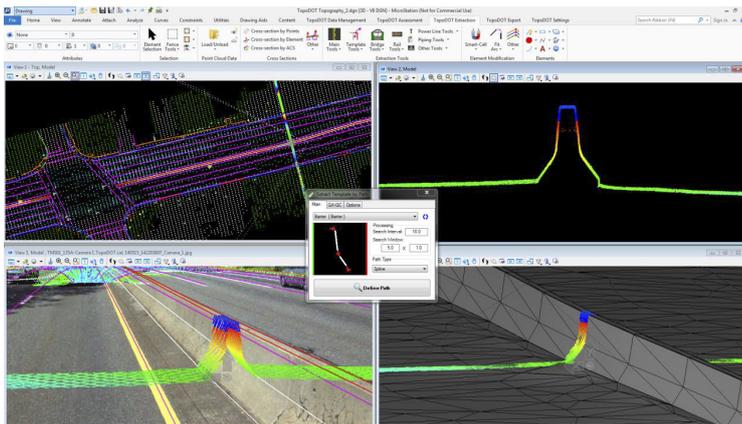


Рис. 18. Использование «умных ячеек» для распознавания барьерных ограждений в TopoDOT

несколько окон, просматривая результаты лазерного сканирования и панорамной фотосъёмки одновременно в нескольких проекциях.

TopoDOT предоставляет очень широкий спектр инструментов, которые можно применять для выделения рельефа местности и автоматического распознавания поверхности дороги.

- Автоматический поиск оси дороги. Ось дороги определяется по центральной линии дорожной разметки (разделительной полосе), которая распознаётся по интенсивности отражённого луча лазера.
- Автоматическое распознавание линий дороги. Инструменты TopoDOT позволяют с высокой точностью восстановить поверхность дороги, распознавая линии перелома, бордюры и тротуары. Характерным точкам лазерного сканирования в поперечном сечении можно назначать семантику (край проезжей части, бордюр, верх бордюра), а затем в автоматическом режиме строить по ним линии дороги (рис. 17).

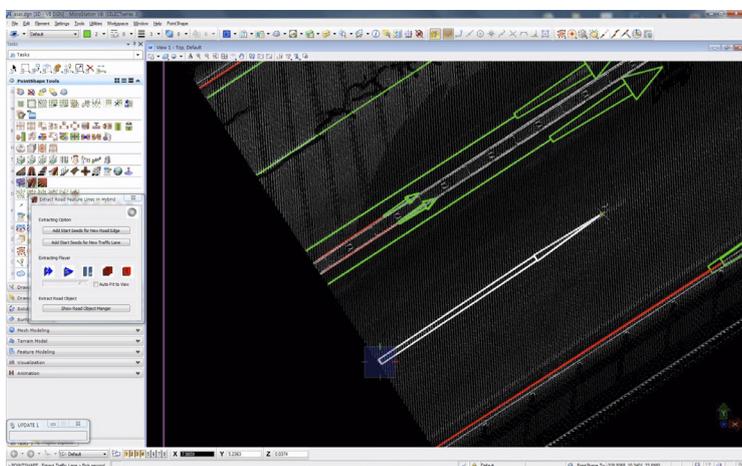


Рис. 19. Подготовка к массовому извлечению конструктивных линий дороги и дорожной разметки в плагине PointShape Advanced для Microstation

- Технология быстрого моделирования трёхмерных объектов. Повторяющиеся объекты сложной формы (например, деревья, опоры ЛЭП, столбы освещения) можно моделировать с помощью «умных ячеек», масштабируемых типовых форм, которые можно извлечь из поперечного сечения облака и отредактировать по своему усмотрению. Такие формы автоматически распознаются в облаке точек. Также «умные ячейки» можно использовать для моделирования линейно-протяжённых объектов сложной формы, например барьерных ограждений — ячейки могут соединяться друг с другом с привязкой по заданным векторам (рис. 18).
  - Извлечение рельефа местности на территориях с густой растительностью. По сетке высот определяются точки с наименьшей высотной отметкой, а затем по ним строится поверхность. Инструмент не требует предварительного удаления шумов или классификации облака точек.
  - Оценка коллизий и прохождения транспортных средств. Пользователь может задать модель транспортного средства и смоделировать его прохождение по дороге или тоннелю.
- Пробная версия доступна по запросу. Для того чтобы получить её, необходимо заполнить форму на сайте Certainty 3D.

## 2.6. DreamT&S PointShape Advanced для AutoCAD/Microstation (Южная Корея)

Южнокорейская группа разработчиков DreamT&S известна с 2005 г. своим плагином для платформ AutoCAD и Microstation под названием PointShape. Программа поставляется в трёх вариантах: Surveyor для регистрации сканов и анализа отклонений от формы исходной модели, Advanced для решения основного спектра задач, и Advanced with Tunnels — с добавленными функциями обработки лазерной съёмки тоннелей. Основной функционал программы был сформирован примерно к 2012 г.

Пользовательский интерфейс версии PointShape Advanced заключается во вкладках на главной панели и главном меню. Инструменты сгруппированы по области применения, это общие инструменты, обрезка облака, построение сечений, промышленные конструкции (Plant), строительные конструкции (Building), дорожные объекты (Road), объёмные примитивы, эскизное рисование плоских фигур (2D Sketch) и тоннели (Tunnel Survey).

Режимы изысканий, представленные в программе, не повторяют ни одно из известных решений, поэтому остановимся на них подробнее. Первый тип команд в строительной группе — это серийное распознавание по образцу (Arrange by profile), взятому из библиотеки. Принцип работы следующий: сначала указывается линия пути,

например кромка дороги, затем объект-образец, например сигнальный столбик, и границы расстановки, то есть начальный и конечный пикет. Программа автоматически распознаёт экземпляры объекта вдоль пути и создаёт соответствующие копии объекта. Можно наложить ограничения на поворот копии. Также возможно распознавание сразу группы объектов, например секции декоративного ограждения. Встроенная библиотека уже содержит множество объектов, таких как опора освещения, светофор, разметка пешеходного перехода и направлений движения, дорожный знак, люк и даже мост.

Команда вертикального моделирования позволяет построить набор горизонтальных сечений вертикального объекта по сечению-образцу. Сечения подгоняются по масштабу, и далее по ним создаётся 3D-модель объекта. Более привычен режим извлечения характерной линии (feature line), который шаг за шагом по указанному начальному участку наращивает линию, например, провода ЛЭП.

Не менее интересны режимы на дорожной панели инструментов. Для извлечения бордюра (road edge) нужно указать начало и конец участка на углу бордюра, затем боковую и верхнюю поверхность бордюра. Программа автоматически создаёт линию кромки бордюра с возможностью дальнейшего разрезания, склейки и обрезки. Режим позволяет распознавать и другие линии перелома поверхности в виде ломаной или B-сплайна. Дорожную разметку можно извлекать с использованием данных интенсивности сигнала в автоматическом и пошаговом

режимах (traffic lane). Когда найдены краевые полосы, можно получить ось дороги как среднюю линию, спроецированную на облако (central line). Для визуального различения конструктивные линии дороги отображаются красным, а линии разметки — зелёным цветом (рис. 19).

Поверхность проезжей части создаётся в виде триангуляции на основе регулярной сетки по одному из множества сценариев: программе для построения достаточно знать, например, только линию пути и образующие точки поперечного сечения (break line) или границы проезжей части — от одной кромки на заданную ширину (Road by 1 profile), от кромки до другой кромки (Road by 2 profiles) или границы перекрёстка (Crossroad) или просто указать выделенную область (Grid mesh). При возможности алгоритм сам находит точки перелома, проводя по ним структурные линии кромок или бордюра в дополнение к созданной поверхности. Подобным образом работает и команда проецирования: можно использовать линию траектории ровера, чтобы спроецировать её на проезжую часть, и извлечь сразу поверхность с выраженными кромками.

Таким образом, можно смело утверждать, что плагин PointShape обладает передовыми инструментами по части восстановления поверхности дороги. Недостатком программы можно назвать отсутствие алгоритмов классификации, которое может помешать получению качественного результата на реальных данных.

Пробная версия PointShape Advanced доступна для скачивания после регистрации на официальном сайте.

При запуске потребуется ввести активационный код.

## 2.7. Undet for SketchUp V2.1 и Undet для AutoCAD V2.4 (Литва)

Примером очень простой утилиты для работы с облаками точек могут послужить плагины, написанные литовскими разработчиками из компании Undet для системы 3D-моделирования SketchUp, а также для САПР AutoCAD. Следует сразу сказать, что это два модуля с общим геометрическим ядром, но различающимися интерфейсами и наборами функций, поэтому рассмотрим их по отдельности.

Модуль Undet для SketchUp предназначен для оцифровки облаков точек в этом удобном редакторе. Интерфейс дополняется плавающими инструментальными окнами, наибольший интерес среди которых представляет панель функций извлечения (Undet References). В простейшем случае можно обводить облако с помощью линий и других примитивов или же воспользоваться одной из более «умных» команд: аппроксимировать плоскую область прямоугольником, построить меш вблизи найденной плоскости по заданному допуску кривизны, найти по двум плоским областям двугранный угол и обозначить его отрезком. Основное преимущество заключается в том, что даже произвольный прямоугольник, распознанный в нужной плоскости, легко доработать до требуемой плоской или объёмной формы средствами самого SketchUp (рис. 20).

В случае с AutoCAD пользовательский интерфейс Undet представлен вкладкой на главной панели и собственным окном свойств. Основные панели инструментов соответствуют функциям управления сечениями, распознавания примитивов, построения поверхностей и анализа деформаций. Создание поверхности возможно с помощью обыкновенного и направленного мешей. Во втором случае рёбра меша будут ориентированы вдоль указанного направления. Доступны команды доработки меша, такие как заполнение пробелов, удаление длинных рёбер и острых вершин.

После доработки меш можно текстурировать изображениями, сгенерированными в полуавтоматическом режиме по облаку точек. Анализ де-

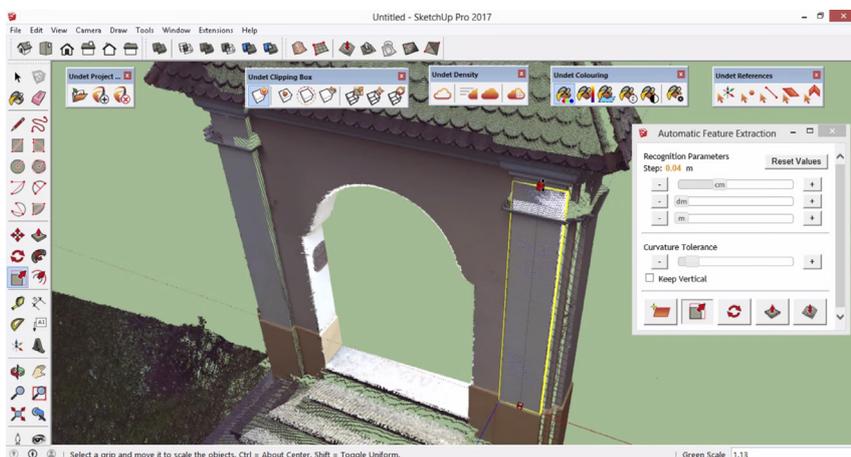


Рис. 20. Формирование геометрии пилястра в плагине Undet V2 для SketchUp

формаций доступен в обеих программах и заключается в создании изображений, показывающих отклонение поверхности облака точек от плоскости в выбранной или вычисленной проекции. Полученные таким способом карты деформаций могут быть удобны для оценки качества возведённой стены строения или поверхности изготовленной детали.

Пробную 7-дневную версию плагина можно получить, написав на почту разработчику.

### Группа 3: решения внутри больших САПР

В третью группу авторы решили выделить большие САПР. Во-первых, это универсальные программные комплексы от гигантов рынка Autodesk и Bentley, которые в погоне за актуальными инструментами скупают готовые решения и в итоге предлагают целую солянку продуктов. Во-вторых, это продукты, конкурирующие с гигантами в отдельных отраслях, в данном случае — дорожном проектировании. Объединяет рассматриваемые программы тот факт, что появление в них функций обработки лазерных данных — очередной эволюционный этап на долгом пути развития, а иной раз рассматривалось даже как «скорее рекламный ход» для продвижения продукта [12].

#### 3.1. Autodesk AutoCAD Civil 3D 2018 (США)

- Распознавание линий, углов и линий сечения.

- Функция построения поверхности, основанная на статистическом алгоритме классификации.

Крупнейший в мире разработчик САПР Autodesk предлагает огромное количество программ для самых разных отраслей, но главной по-прежнему остаётся универсальная платформа AutoCAD, известная ещё с 1982 г. Возможность загрузить облако точек в систему впервые была продемонстрирована в версии AutoCAD 2011, однако более-менее значимые функции обработки появились ближе к версии AutoCAD 2015.

Современный «чистый» AutoCAD позволяет импортировать облака точек с созданием поискового индекса и отображать на экране до 25 миллионов точек одновременно. Основные ин-

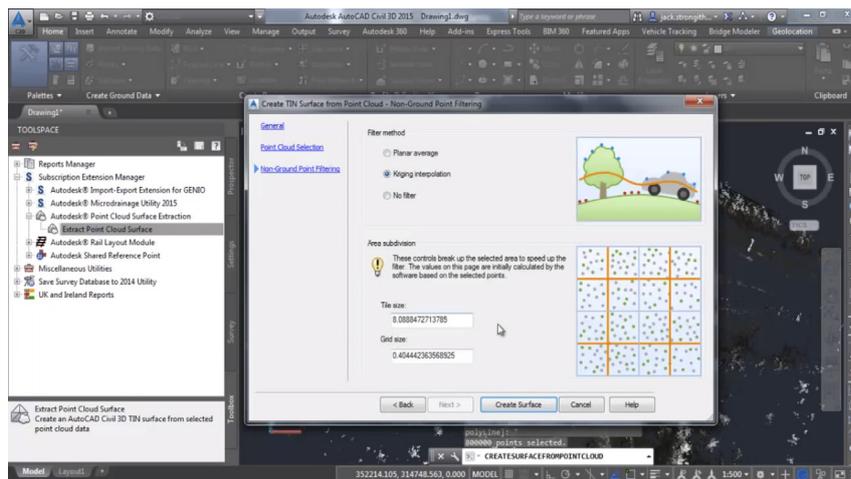


Рис. 21. Настройка классификации земли методом интерполяции на основе кригинга в AutoCAD Civil 3D

струменты сосредоточены на вкладке Point Cloud: в основном это настройки отображения, раскраски, функции обрезки и просмотра сечений.

Главный интерес представляет группа команд распознавания: здесь есть извлечение кромки как линии пересечения двух плоскостей (Extract edge), угла как точки пересечения трёх плоскостей (Extract corner), центральной линии (Extract central line) и всех линий в заданном сечении (Extract section lines). Другим важным инструментом является «умная» привязка курсора, позволяющая выполнять построения по точкам, расположенным на ближайшей к экрану поверхности, и отсеивать точки-выбросы, которые могли бы сбить с толку пользователя. На этом возможности «базовой» САПР заканчиваются.

Буквально на один инструмент больше можно найти в надстройке AutoCAD для гражданского строительства Civil 3D: команда создания поверхности по облаку точек запускает мастер создания триангуляции, в котором настраивается стиль и материал для отображения, процент импортируемых точек и самое главное — опциональная классификация земли с использованием простого среднего значения или же алгоритма кригинга (рис. 21). Соответственно, точка считается принадлежащей земле, если находится ниже значения Z-координаты, вычисленного с помощью интерполяции как простое среднее или наиболее вероятное значение.

Несколько отличается сценарий работы в архитектурной САПР Revit: ос-

новными инструментами выступают привязка облака к системе координат проекта, управление областью видимости облака точек, включая обрезку и построение горизонтальных срезов, и последующая оцифровка планов либо объектов интерьера. Также облака точек широко применяются в промышленной САПР от Autodesk — Plant 3D, но здесь, как правило, применяется сторонний плагин PointSense.

Для скачивания пробной 30-дневной версии Civil 3D потребуется регистрация.

#### 3.2. Bentley Pointools и Descartes для Microstation (США)

- Функции «умной» привязки и проецирования на облако точек.

- Обнаружение и анализ отличий и коллизий модели и облака (Pointools).

- Удобная работа в разрезах (Descartes).

Компания, основанная в 1984 г. братьями Бенгли, является вторым по значимости игроком на рынке САПР. В России продукты компании не так популярны, прежде всего вследствие высокой стоимости, но всё-таки известны: главным образом это САПР-платформа Microstation, а в контексте лазерного сканирования — программы Descartes и Pointools. Последние версии программ имеют дописку в названии «CONNECT Edition».

Продукт Pointools изначально создавался английской компанией Pointools Ltd. С 2009 г. разработкой заинтересовалась Bentley и через два года полно-

стью её поглотила [13]. Лежащее в основе программы ядро обработки под названием Pointools Vortex позже было подключено в другие программы Bentley, в частности Descartes.

По программе Pointools уже был обзор в журнале «САПР и Графика» [14], поэтому отметим здесь только её сильные стороны: это «умная» привязка курсора, позволяющая проводить линии на пересечении или границе условных плоскостей; «умное» проецирование (драпировка) линий на облако точек, например, для создания сечений рельефа; добавление размеров и примечаний; наконец, обнаружение коллизий модели и облака в режиме анимации или интерактивном режиме и поиск отличий между моделью и облаком — последние инструменты должны быть особенно востребованы в промышленности, но также могут применяться для анализа прохождения крупногабаритного транспорта (рис. 22). Программа поставляется в двух вариантах — как полноценная САПР и как средство просмотра облаков точек с функциями измерения и рецензирования (Pointools View).

Расширение Descartes для Microstation изначально предназначалось для обработки изображений, оцифровки архивных документов, в том числе устаревших форматов, а в версии SS4 были добавлены инструменты и для обработки данных лазерного сканирования. Одним из ключевых преимуществ здесь является концепция динамических видов, появившаяся в Microstation V8i, которая позволяет работать с разрезами облака точек точно так же, как и с основным видом, что удобно для изысканий на местности.

Помимо системы видов, в пользовательском интерфейсе Descartes SS4 можно найти закладки инструментального окна с командами ручной классификации, настройками отображения облаков точек, управления видимостью классов, построения сечений и навигацией по ним (рис. 23). Например, можно проводить линию с подсветкой точек поперечного профиля для текущего положения курсора.

Наиболее интересными выглядят функции из меню Point Cloud Advanced. Так, режим проведения линии (3D line following) при указании диапазона интенсивности сигнала способен быстро находить дорожную разметку, обозначая непрерывной линией даже прерывистую разметку, а проецирование точек и линий на облако точек (Drape element) при умелом использовании позволит построить карту высот или набор поперечных профилей линейного объекта, а созданные сечения можно объединить в твердотельную модель. По полученным с помощью экспорта или проецирования точкам всегда можно построить меш.

Для извлечения ЛЭП и других выраженных линейных объектов подойдёт команда привязки элемента (Snap element): сначала примерно задаём линию пути, затем указываем параметры

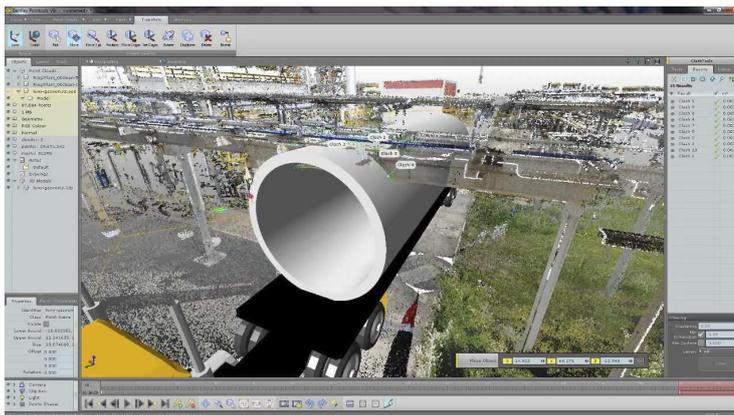


Рис. 22. Анализ прохождения фуры, перевозящей бетонную трубу, по территории предприятия в Bentley Pointools

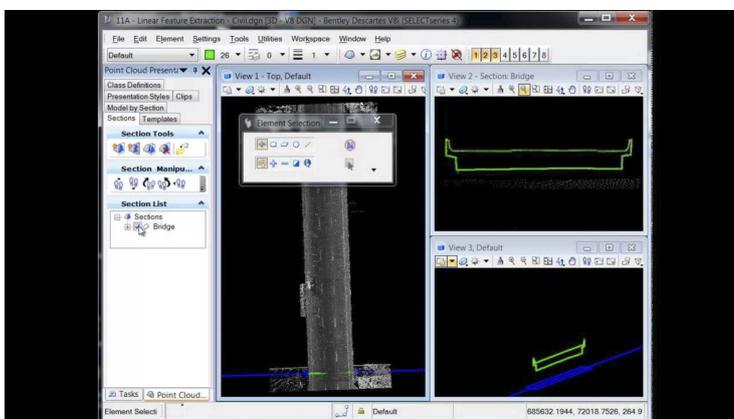


Рис. 23. Извлечение сечений моста по облаку точек в Bentley Descartes SS4

«умной» привязки, включая радиус поиска, шаг создания узлов линии, в качестве способа вычисления выбираем средние или медианные координаты, после чего программа создаёт более детализированную линию, повторяющую искомую форму. Данный режим также можно применить для проецирования точек и линий на верхний или нижний уровень двухъярусного объекта, например, путепровода.

Для скачивания любой из программ нужно оставить заявку на сайте разработчика.

### 3.3. MicroSurvey CAD 2017 (Канада)

- Полнофункциональная САПР с возможностью работы с данными лазерного сканирования.
- Инструменты автоматизированного распознавания линий дороги и дорожной разметки.
- Получение модели рельефа методом поиска точек с наименьшей высотной отметкой в узлах сетки в заданном радиусе.
- Множество обучающих материалов и видеороликов (на английском языке).

Компания MicroSurvey была организована в 1985 г. в Канаде, а в 2012 г. также вошла в состав мирового концерна Hexagon. Изначально

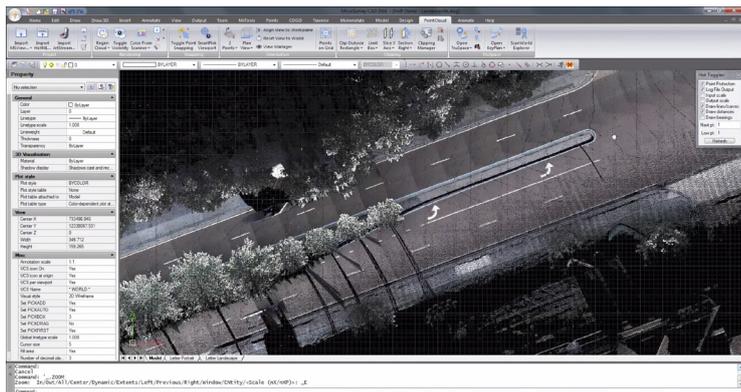


Рис. 24. Работа с облаком точек в MicroSurvey CAD 2016

для обработки данных лазерного сканирования в MicroSurvey разрабатывалась отдельная система — MicroSurvey Point Cloud. Последней версией этой системы стала PointCloud 2010, выпущенная в 2010 г., а затем весь функционал по работе с данными лазерного сканирования был перенесён в один из ключевых продуктов компании — САПР MicroSurvey CAD (рис. 24). Она объединяет в себе возможности традиционных САПР, а также различные функции для решения инженерно-геодезических, топографических и маркшейдерских задач.

Для загрузки облаков точек лазерного сканирования в MicroSurvey CAD дополнительно требуется установка серверного ПО Leica Cyclone SERVER от компании Leica Geosystems. Модуль Cyclone SERVER позволяет организовать обработку данных, используя технологию «клиент-сервер» и обеспечивает возможность совместной работы с хранящимися на сервере облаками точек лазерного сканирования, изображениям и моделям объектов. Такой подход делает возможной работу с большими и сложными проектами в многопользовательском режиме и позволяет не хранить «тяжёлые» облака точек на жёстком диске компьютера.

Данные со сканеров Leica при использовании программного комплекса Cyclone передаются на

Cyclone SERVER автоматически, а облака точек с других сканеров нужно предварительно загрузить на сервер, а затем импортировать в проект. Поддерживаются наиболее распространённые форматы данных лазерного сканирования: LAS, XYZ, PTS, e57 и т.д., а также форматы популярных лазерных сканеров, в том числе FARO, Riegl, Z+F (Zoller + Fröhlich) и др.

В MicroSurvey CAD реализована графическая подсистема для работы с облаками точек, позволяющая просматривать облака в различных проекциях и трёхмерном виде, строить сечения по заданным линиям, задавать зону видимости, отсекая ненужные точки.

Извлекать данные из облака точек в системе можно с помощью следующих инструментов.

- Инструмент Road Line Extractor позволяет автоматически распознавать линии дороги и дорожной разметки. Для извлечения линии достаточно указать две точки, лежащие на ней, и система сама экстраполирует линию по точкам лазерного сканирования. Примечательным является то, что распознаются не только прямые участки линии, но и кривые.
- Инструменты построения поверхности (TIN) делают возможным построение цифровой модели местности и нанесение горизонталей по данным облака точек с возможностью немедленного просмотра получившейся модели.
- С помощью инструмента Grid Survey можно получить цифровую модель рельефа местности. Принцип работы инструмента следующий: задаётся шаг сетки и радиус поиска точек, затем в каждом узле сетки в пределах заданного радиуса система ищет точку с наименьшей высотной отметкой. Эти точки считаются точками, лежащими на поверхности земли, по ним можно построить модель поверхности.

Кроме того, так как система является полнофункциональной САПР, для работы с точками лазерного сканирования можно использовать стандартные инструменты САПР: 3D-полилинии, привязку и пр.

Для получения демонстрационной версии MicroSurvey CAD необходимо оставить заявку на сайте компании. Следует учесть, что в версиях, предлагаемых для бесплатного ознакомления, инструменты для обработки данных лазерного сканирования (Road Line Extraction, Grid Survey и пр.) отсутствуют, однако возможна загрузка облаков точек и их просмотр в различных проекциях в трёхмерном виде.

Отдельно следует отметить наличие большого количества обучающих видеороликов, которые разъясняют некоторые неочевидные моменты и позволяют быстрее освоить принципы работы с системой. Ролики доступны как для просмотра

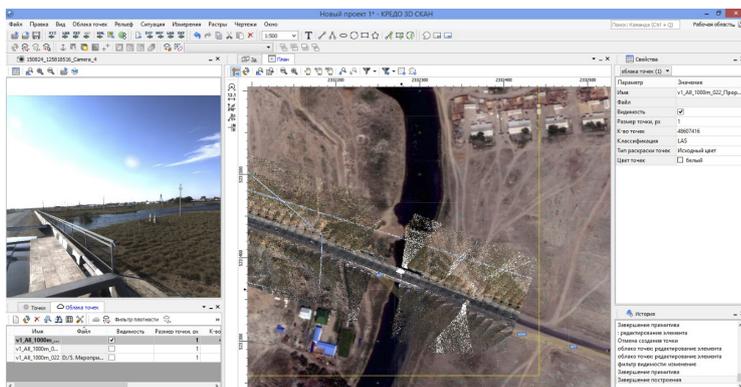


Рис. 25. Окно плана с облаком точек и панорамный вид в Credo 3D Скан 1.0

на сайте MicroSurvey, так и для скачивания вместе с дистрибутивом продукта.

### 3.4. «Кредо-Диалог» Credo 3D Скан 1.0 (Беларусь)

- Удобный просмотр облака точек, синхронизированный с видом фотопанорамы.
- Полный набор инструментов для создания ЦММ.
- Наличие «умных» функций, таких как обнаружение и классификация дорожных знаков.

Белорусская компания «Кредо-Диалог», основанная в 1989 г., известна как один из старейших отечественных разработчиков САПР для автомобильных дорог, решения которого актуальны по сей день и пользуются большой популярностью на постсоветском пространстве. В феврале 2016 г. компания представила свою систему для обработки данных лазерного сканирования местности под названием Credo 3D Скан.

Приложение использует идеологию и платформу Credo DAT — это классическая программа от «Кредо-Диалог», предназначенная для обработки традиционных инженерных изысканий и позволяющая строить полноценную ЦММ, включая рельеф, точечные и линейные объекты, растровые данные, интернет-карты и прочее. 3D Скан отличается прежде всего добавлением новой структуры данных — облака точек — и набором операций для взаимодействия с ней. Поддержка облаков точек реализована с использованием открытых библиотек OpenCV и Point Cloud Library, для работы программы необходима видеокарта с поддержкой OpenGL 3.3.

В основе пользовательского интерфейса 3D Скан лежит классическое главное меню, рабочее окно с 3D-видом либо планом проекта, окно свойств и классификатор с коллекцией условных знаков. При наличии данных панорамной видеосъёмки доступен также вид с фотопанорамой, автоматически связанный с положением и ориентацией камеры в 3D-виде (рис. 25).

Облака точек могут быть загружены из файлов в форматах LAS и TXT. Для регистрации используется геопространственная привязка, позволяющая объединить данные лазерного сканирования с интернет-картой [15]

и панорамными фотоизображениями. Чтобы привязать облако, необходимо при импорте выбрать правильную систему координат из библиотеки.

Первая задача при построении ЦМР — это создание модели рельефа. 3D Скан располагает набором наиболее востребованных инструментов, таких как классификация земли, создание матрицы высот, прореживание с заданной точностью по уклону и построение триангуляции по полученным точкам. Среди дополнительных возможностей отметим классификацию откосов с последующей раскраской по уклону, что упрощает процесс ручной оцифровки линий, образующих кювет. Заметим, что команды классификации в 3D Скан всегда создают новое облако точек.

Точечные и линейные объекты ситуации могут быть распознаны вручную или автоматически. При ручном создании используется привязка к облаку, отмеченному как рельеф: для каждой точки построения вычисляется средняя Z-отметка по точкам облака, взятым в окрестности курсора. Для каждого объекта указывается код классификатора, определяющий семантику топографического объекта. Такой способ необходим, когда искомым объектом не имеет выраженной геометрии в облаке, например для поиска кромки проезжей части.

Линейные объекты с выраженной геометрией, такие как ЛЭП, распознаются автоматически после указания стартового участка и параметров наращивания линии. Здесь предусмотрена удобная функция «Продолжить объект», позволяющая преодолеть разрыв в данных съёмке, вручную указав продолжение линии. Похожий алгоритм применяется для распознавания вертикальных столбов, например сигнального столбика, опоры освещения или дорожного знака: сначала создаётся осевая линия, а затем в точке пересечения её с рельефом создаётся точечный объект. Дорожная разметка распознаётся с использованием данных об интенсивности сигнала.

Помимо создания одиночных линий, можно распознавать профиль целиком. Для этого сначала в поперечном сечении объекта нужно обозначить линию профиля, а затем в 3D-виде указать стартовый участок для поиска профиля вдоль объекта. На

выходе программа создаёт основные продольные линии, образующие профиль, например линии бордюра или ограждения.

Программа предлагает и ряд других решений, выходящих за рамки модели облака точек, например создание растрового плана по слою, вырезанному из облака точек на определённой высоте, с последующей векторизацией контуров зданий и других вертикальных конструкций или обнаружение и классификация дорожных знаков по фотоизображениям.

Для запуска программы понадобится аппаратный ключ, пробной версии не предусмотрено.

### 3.5. «ИндорСофт» IndorCAD 2018 (Россия)

- Высокая достоверность результата распознавания благодаря «умной» привязке.
- Визуальный контроль распознавания линии в сечениях.
- Подготовка ЦММ по облаку точек и проектирование дороги в одной программе.

Томская компания «ИндорСофт» была зарегистрирована в 2003 г., хотя разработка программы для проектирования автомобильных дорог IndorCAD ведётся командой ещё с 1990-х гг. Первые функции для подключения и отображения облаков точек появились в IndorCAD 9 в 2013 г. [16, 17, 18], в 2014 г. были добавлены инструменты обработки [19].

Реализация облаков точек в IndorCAD отличается глубокой интеграцией, поэтому работа с ними осуществляется почти так же, как и с другими объектами: список облаков отображается в дереве проекта, функции импорта и экспорта расположены на вкладке «Данные», а команды построения точечных и линейных объектов находятся в подменю стандартных режимов построения.

Облака отображаются во всех видовых экранах, включая план, 3D-вид, поперечный профиль, при этом команды распознавания работают в плане и 3D-виде (рис. 26). Никаких ограничений на количество отображаемых точек не накладывается, за счёт порционной визуализации программа справляется с отображением действительно больших и протяжённых облаков точек, характерных для съёмки местности. Регистрация облаков ре-

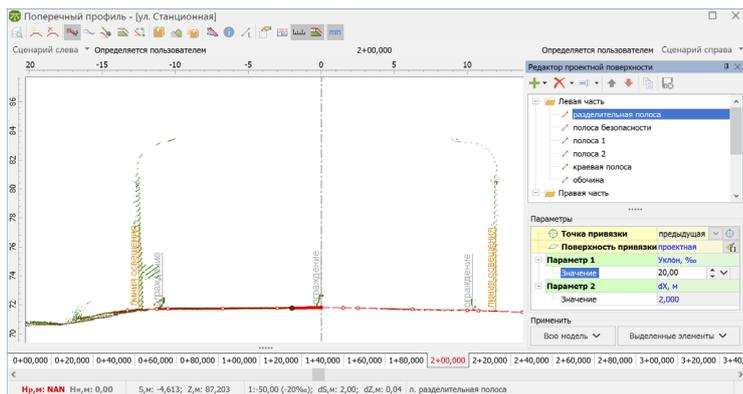


Рис. 26. Редактор поперечного профиля с данными лазерной съёмки в IndorCAD

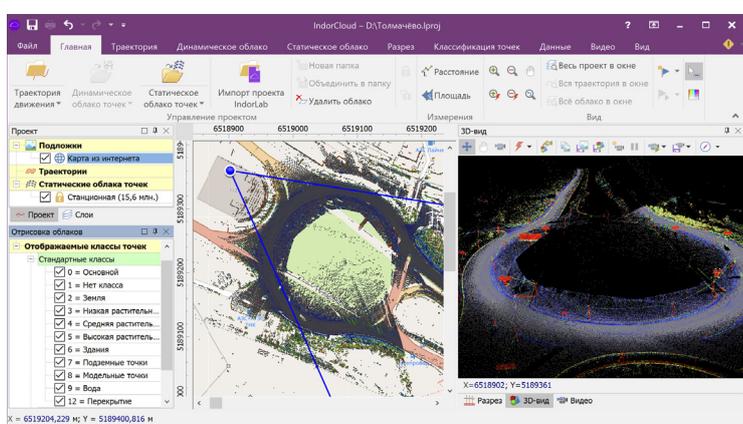


Рис. 27. Совмещение облака точек с интернет-картой и раскраска по уклону в IndorCloud

лизуется автоматически через геопространственную привязку, для этого должны быть выбраны верные системы координат проекта и облака точек.

В основе всех команд распознавания в программе лежит «умная» привязка: каждый раз при создании узла объекта статистический алгоритм определяет наиболее вероятную Z-отметку в облаке по точкам окрестности курсора. В случае ручного построения алгоритм может распознавать верхний и нижний уровни бордюра, предлагая соответствующие Z-отметки на выбор для одного и того же положения курсора.

Кроме ручных режимов, доступно полуавтоматическое извлечение линии перелома поверхности, например верхней линии откоса: для этого указывается коридор, в котором находится искомая линия, шаг наращивания и параметры определения перелома. В качестве опции можно проконтролировать выбор точки перелома на каждом сечении.

Поверхность рельефа в IndorCAD моделируется триангуляцией. Первый способ заключается в построении триангуляции по выборочным точкам облака и удобен для первичной оценки рельефа в заданной области. Во втором случае поверх-

ность строится по всем точкам предварительно прореженного облака.

Предполагается, что прежде чем будет выполняться извлечение рельефа и объектов ситуации, данные съёмки должны пройти определённую предварительную обработку в дополнительном модуле IndorCloud [10]. Ранний этап предобработки заключается в собственно формировании облаков точек из наборов данных, полученных от инерциальной навигационной системы и головок лазерного сканера, и может выполняться в программе, когда ПО от производителя оборудования недоступно или по каким-то причинам не устраивает.

Основной этап предобработки в IndorCloud включает в себя классификацию земли и прореживание. Также доступны команды классификации нижних, воздушных и изолированных точек-выбросов, точек на заданной высоте над землёй. Важной особенностью алгоритмов классификации в программе является сохранение результата классификации внутри исходного облака, что позволяет существенно сэкономить место на диске и использовать одно облако для разных целей, управляя видимостью отдельных классов. Среди многочисленных способов раскраски облака стоит выделить раскраску по уклону (рис. 27), позволяющую легче ориентироваться в съёмке и обнаруживать вертикальные объекты независимо от рельефа, в отличие от обычной градиентной раскраски.

Пробная 30-дневная версия программы IndorCAD доступна для скачивания на официальном сайте разработчика. Для получения пробной версии IndorCloud необходимо отправить запрос на почтовый адрес компании.

## Сравнительная таблица

Для удобства читателей авторы постарались свести рассмотренные и некоторые другие программы в табл. 1, где помимо типовых наборов инструментов отмечены основные области применения, а также в отдельную позицию вынесена адаптация для дорожного строительства (столбец «Дорожные объекты»).

Отдельно отметим присутствие в таблице Agisoft Photoscan — пожалуй, наиболее известной программы для фотограмметрии, промежуточным этапом работы в которой, однако, является создание разреженных и плотных облаков точек с дальнейшей их обработкой.

## Выводы

1. Рынок ПО для обработки данных лазерного сканирования свежий, и динамично развивающийся. Наблюдаются активные перепродажи фирм: постоянно появляются стартапы, самые успешные из которых скупаются гигантами, такими как Autodesk, Bentley, Trimble, 3D Systems, FARO. Как следствие, постоянно появляются новые продук-

Таблица 1.

Название	Разработчик	Платформа	Применение	Перископия	Геопривязка	Сечения	«Умная» привязка курсора	Линии и примитивы	Бордюры	Lsp, разметка	Опоры и столбы	Провода ЛЭП	Восстановление поверхности	Классификация земли	Классификация прочая	Сравнение с моделью	Пробная версия
<b>Группа 1: ПО от производителей</b>																	
<b>Cyclone</b>	Leica Technologies (Швейцария) / Hexagon (Швеция)		Архитектура, промышленность	+	+	+	+	+	+				TIN, меш	+			+
<b>CloudWorx</b>		AutoCAD, Microstation, Revit, NavisWorks, PDMS, 3DReshaper и другие	Архитектура, Промышленность			+	+	+	+		+/-		TIN	+	+		
<b>Scene</b>				+	+	+	+	+					TIN, меш	+			+
<b>PointSense</b>	FARO Technologies (США)	AutoCAD, Revit	Архитектура, промышленность, тополлан, культурное наследие	+		+	+	+					TIN				+
<b>RiSCAN Pro</b>			Архитектура, тополлан	+		+	+	+	+				TIN				
<b>RiPROCESS</b>	RiegI (Австрия)		Архитектура, тополлан	+	+	+							TIN				
<b>RealWorks</b>	Trimble (США)		Промышленность, архитектура, дороги	+		+	+	+	+		+/-					+	+
<b>Geomagic Design X (RapidForm X)</b>	3D Systems (США)		Промышленность, архитектура, медицина	+		+		+					Mesh, topo, NURBS		+	+	15 д.
<b>Группа 2: Независимые решения</b>																	
<b>TerraScan</b>	Terrasolid (Финляндия)	Microstation, PowerDraft	Тополлан, дороги	+ <sup>4</sup>	+	+		+/-			+/-	+	+	+	+		+/-
<b>3DReshaper</b>	Technodigit (Франция)		Архитектура, промышленность, инфраструктура, медицина и другое	+	?	+		+	+/-		+	+	Mesh, CIMF	+	-	+	30 д.
<b>VRMesh</b>	Virtual Grid (США)		Промышленность, инфраструктура, архитектура, медицина и другое	+ <sup>4</sup>		+/-		+	+	+	+	+	Mesh, grids, NURBS	+	+		30 д.
<b>VisionLidar</b>	Geo-Plus (Канада)		Дороги, тополлан	+		+		+	+	+	+	+	TIN, меш, topo <sup>5</sup>	+	+		беспрочная

Таблица 1. (Продолжение)

Название	Разработчик	Платформа	Применение	Регистрация	Геопривязка	Сенция	«Умная» привязка курсора	Линии и примитивы	Бордюры	Дор. разметка	Опоры и столбы	Провода ЛЭП	Восстановление поверхности	Классификация земли	Классификация прочая	Сравнение с моделью	Пробная версия
<b>TopoDOT</b>	Certainty 3D	Microstation	Топоплан, дороги, архитектура	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+		+
<b>PointShape Advanced</b>	DreamT&S Ltd. (Южная Корея)	Microstation, AutoCAD	Промышленность, дороги, архитектура	+		+		+	+/-	+	+	+	Меш, TIN, grid			+	+
<b>Undet for AutoCAD</b>	Undet (Литва)	AutoCAD	Архитектура, топоплан, промышленность	-		+		+	+/-	-	+/-		Меш	-		+	7 д.
<b>Undet for SketchUp</b>		SketchUp	Архитектура	-		+		+	+/-	-			+/-	-		+	7 д.
<b>PhotoScan</b>	Agisoft (Россия)		Топоплан, с/х, архитектура, промышленность										Меш, TIN, grid <sup>7</sup>	+	+		+
<b>Группа 3: Решения внутри больших САПР</b>																	
<b>AutoCAD Civil 3D</b>	Autodesk	AutoCAD	Топоплан		+	+	+/-	+	-				TIN	+	-		30 д.
<b>Pointools</b>	Bentley Systems (США)		Топоплан, дороги, промышленность			+	+	+	+/-			+	Меш	P <sup>8</sup>	P		+
<b>Descartes</b>		Автономно, Microstation	Топоплан, дороги, промышленность		+	+	+	+	+/-	+		+	Меш	P	P		+
<b>Microsurvey CAD</b>	Microsurvey (Канада)	IntelliCAD	Дороги	-		+		+	+/-	+			+	-			+/-
<b>Credo 3D Скан</b>	«Кредо-Диалог» (Беларусь)	Credo DAT	Дороги, топоплан, ПГС		+	+	+	+	+/-	+	+	+	TIN, grid	+	+	+/-	-
<b>IndorCAD</b>	«ИндорСофт» (Россия)		Дороги, топоплан, ПГС		+	+	+	+	+/-	-	P		TIN	+	+	+/-	30 д.
<b>папoCAD Облака точек</b>	«Нанософт» (Россия)		Универсальная		+?	+	-	-					TIN	+	+	+/-	30 д.

1 — триангуляция.

2 — 3D Systems приобрела южнокорейскую компанию RapidForm в 2012 г. и американскую Geomagis в 2013 г. [20, 21].

3 — выполняет сегментацию, выделяя поверхности по типам (плоская, выдавливания, вращения, свободная форма).

4 — в том числе уравнивание линейно-протяжённых сканов мобильной лазерной съёмки.

5 — поверхность (обычно триангуляция) по точкам, взятым в узлах регулярной сетки.

6 — под телом в данном случае подразумевается его внешняя поверхность (меш) либо тетраэдризация.

7 — реализованы два варианта: «карта высот» (ландшафт) и «произвольная поверхность».

8 — только в ручном режиме.

- ты, причём иногда это уже известные программы, сменившие название и платформу.
2. Компании-гиганты фактически проигрывают технологическую гонку в области обработки данных лазерного сканирования: наиболее интересные решения предлагают именно молодые компании, здесь же наблюдается быстрое развитие и появление новаторских подходов. Чтобы увидеть что-то новое, нужно смотреть VRMesh, VisionLidar и PointShape, а не Civil 3D и Descartes. По этой же причине можно ожидать новых поглощений.
  3. Молодые команды стремятся «поймать двух зайцев», выпуская программы двойного назначения, включающие модули и функции как для обратного инжиниринга, так и для изысканий на местности.
  4. При большом изобилии программ лучшим решением для проектировщика может быть установка сравнительно недорогого плагина к привычной ему системе или даже использование бесплатной, но продвинутой утилиты.
  5. Разумным требованием к изыскателю будет дополнительная предобработка данных, в частности фильтрация и базовая классификация (выделение рельефа), это сэкономит время и нервы проектировщику и положительно скажется на качестве проекта. ■

## Литература:

1. Лазерное сканирование и 3D моделирование для восстановления информационной модели Ростовской АЭС / М. Аникишкин [и др.] // сайт проекта isicad.ru. URL: [http://isicad.ru/ru/articles.php?article\\_num=17243](http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=17243) (дата обращения: 15.12.2017).
2. Лазерное сканирование и последующая обработка данных в 3D для повышения качества управления промышленными объектами // сайт проекта isicad.ru. URL: [http://isicad.ru/ru/articles.php?article\\_num=18039](http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=18039) (дата обращения: 15.12.2017).
3. List of programs for point cloud processing // Wikipedia, the free encyclopedia. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_programs\\_for\\_point\\_cloud\\_processing](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_programs_for_point_cloud_processing) (дата обращения: 15.12.2017).
4. Slyadnev S., Malyshev A., Turlapov V. CAD model inspection utility and prototyping framework based on OpenCascade // Conference Paper: GraphiCon 2017, At Russia, Perm. URL: [https://www.researchgate.net/publication/319078392\\_CAD\\_model\\_inspection\\_utility\\_and\\_prototyping\\_framework\\_based\\_on\\_OpenCascade](https://www.researchgate.net/publication/319078392_CAD_model_inspection_utility_and_prototyping_framework_based_on_OpenCascade) (дата обращения: 15.12.2017).
5. Готовцев А. Geomagic Studio знает, что делать с облаком точек // САПР и Графика. 2012. № 9. С. 53–55. URL: <http://sapr.ru/article/23261> (дата обращения: 15.12.2017).
6. Программное обеспечение, используемое для обработки данных сканирования // сайт НПП «Фотограмметрия». URL: <http://photogrammetria.ru/94-programmnoe-obespechenie-ispolzuemoe-dlya-obrabotki-dannyh-skanirovaniya.html> (дата обращения: 15.12.2017).
7. Leica Cyclone 3D Point Cloud Processing Software // Leica Geosystems. URL: <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/software/leica-cyclone> (дата обращения: 15.12.2017).
8. Leica CloudWorx Family of Products // Leica Geosystems. URL: <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/software/leica-cloudworx> (дата обращения: 15.12.2017).
9. FARO expands presence in architecture, engineering and construction with acquisition of Kubit // FAFO. URL: <https://www.faro.com/news/faro-expands-presence-in-architecture-engineering-and-construction-with-acquisition-of-kubit/> (дата обращения: 15.12.2017).
10. Медведев В.И., Сарычев Д.С., Скворцов А.В. Предварительная обработка данных мобильного лазерного сканирования в системе IndorCloud // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. № 2(3). С. 67–74. DOI: 10.17273/CADGIS.2014.2.11
11. Князюк Е.М. Обзор возможностей систем эскизного проектирования автомобильных дорог // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 2(5). С. 59–67. DOI: 10.17273/CADGIS.2015.2.10
12. Ожигин Д. Миллионы точек в nanoCAD Plus 7, или чуть подробнее об облаках точек. // Блог компании Нанософт на ресурсе «Хабрахабр». URL: <https://habrahabr.ru/company/nanosoft/blog/267623/> (дата обращения: 15.12.2017).
13. Bentley acquires Pointools, vows to make point clouds 'a fundamental data type' // Graphic Speak. URL: <http://gfxspeak.com/2011/11/08/bentley-acquires-pointools-vows-to-make-point-clouds-a-fundamental-data-type/> (дата обращения: 15.12.2017).
14. Сметанюк А. Работа с данными лазерного сканирования в ПО Bentley // САПР и Графика. 2014. № 4. С. 78–80. URL: <http://sapr.ru/article/24471> (дата обращения: 15.12.2017).
15. Медведев В.И. Использование интернет-карт в САПР и ГИС в качестве подложек // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 2(5). С. 119–125. DOI: 10.17273/CADGIS.2015.2.18
16. Петренко Д.А. Новое поколение программных продуктов ИндорСофт // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2013. № 1(1). С. 10–17. DOI: 10.17273/CADGIS.2013.1.2
17. Метод проектирования ремонтов автомобильных дорог на основе мобильного лазерного сканирования / А.Н. Байгулов [и др.] // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2013. № 1(1). С. 29–32. DOI: 10.17273/CADGIS.2013.1.6
18. Сарычев Д.С. Мобильное лазерное сканирование // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2013. № 1(1). С. 36–41. DOI: 10.17273/CADGIS.2013.1.8
19. Сарычев Д.С. Обработка данных лазерного сканирования // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. № 1(2). С. 16–19. DOI: 10.17273/CADGIS.2014.1.4
20. 3D Systems Buys Rapidform // 3D Systems. URL: <https://www.3dsystems.com/press-releases/3d-systems-buys-rapidform> (дата обращения: 15.12.2017).
21. 3D Systems to Acquire Geomagic // 3D Systems. URL: <https://www.3dsystems.com/press-releases/3d-systems-acquire-geomagic> (дата обращения: 15.12.2017).

# Практика разработки проектов и временных схем организации дорожного движения с применением IndorTrafficPlan

DOI: 10.17273/CADGIS.2017.2.3

Неретин А.А., к.т.н., зам. директора ООО «Индор-Центр» (г. Москва)  
Матвеев Н.М., ведущий инженер ООО «Индор-Центр» (г. Москва)  
Сорокин-Урманов С.Е., начальник отдела аудита обеспечения безопасности дорожного движения ООО «Автодор-Инжиниринг» (г. Москва)

*Рассматривается инновационный подход к разработке временных схем дорожного движения на период ремонта и подход в рамках комплексов информационного моделирования дороги. Проводится обзор инструментов программного обеспечения по созданию схем организации дорожного движения.*

В инженерном проекте на ремонт, капитальный ремонт или реконструкцию автомобильной дороги обязательным разделом является проработка временных схем организации дорожного движения на период строительства (далее временных схем). Для составления схем необходимо делать досъемку прилегающей к зоне работ на дороге: не менее 800 м до зоны работ и не менее 100 м за зоной работ [1, 2, 3]. Дополнительные геодезические измерения приводят к увеличению стоимости работ. Разработка временных схем осуществляется в соответствии с требованиями ОДМ 218.6.014–2014 [4] и СТО АВТОДОР 4.1–2014 [5].

Для составления временных схем, как правило, используют топографический план дороги масштабом 1 : 1000 с обязательным указанием существующих дорожных знаков, барьерных ограждений, разметки и т.д. Временная схема составляется с учётом категории дороги, количе-

ства полос движения, состояния обочины, наличия разделительной полосы, переходно-скоростных полос, съездов, автобусных остановок и т.д. На временных схемах прорабатывают расположение временных дорожных знаков, которые не только информируют о зоне строительных работ и предупреждают о снижении скорости до безопасного значения, но и регулируют движения транспортных потоков с учётом существующей реальности (съездов, пересечений, переходно-скоростных полос, автобусных остановок и т.д.).

Нанесение временной разметки дополняет временные дорожные знаки и помогает регулировать транспортные потоки, тем самым повышая безопасность движения. В ряде случаев следует временно зачехлить существующие дорожные знаки в связи с изменением ситуации, чтобы не дезинформировать водителей. Особое внимание при разработке временных схем уде-

ляется расстановке ограждающих и направляющих устройств и размещению сигнализации для ночного времени суток.

Все временные схемы обязательно сопровождаются подсчётом:

- количества дорожных знаков с расшифровкой по группам;
- площади временной дорожной разметки;
- количества сегментов ограждения и направляющих устройств;
- количества сигнализации и т.д.

Временные схемы составляются на каждую захватку, которая варьируется от 500 м до 1500 м в зависимости от состава и производительности дорожной техники. При большом количестве схем ручной подсчёт материалов становится трудоёмким и нет гарантии, что нет и не будут допущены ошибки из-за человеческого фактора. Проектные организации, занимающиеся разработкой временных схем, давно хотели автоматизировать этот процесс.

На отечественном рынке программных комплексов имеется ряд коммерческих систем, предназначенных для разработки проектов организации дорожного движения:

- коробочный продукт компании «Кредо-Диалог» (г. Минск) CREDO Дислокация 1.2;
- модуль «Проектирование схем дислокации ТС ОДД», входящий в состав комплекса «Титул-2005» (г. Саратов);
- система проектирования организации дорожного движения IndorTrafficPlan компании «ИндорСофт» (г. Томск).

Программы позволяют обеспечить ввод, редактирование и отображение всех требуемых элементов на автомобильной дороге. С помощью модуля автоматизированного проектирования в несколько раз повышается производительность труда при разработке проектов организации дорожного движения.

Рассмотрим особенности программы CREDO Дислокация 1.2. Система выполняет следующие операции.

- Линейную генерацию планов автомобильной дороги с автоматической расстановкой основных дорожных знаков, нанесением основной горизонтальной разметки, объектов дорожной обстановки, элементов обустройства и ос-

нащения дороги в соответствии с дорожной ситуацией, описанной пользователем.

- Создание планов организации безопасности дорожного движения (рис 1).
- Интерактивное создание и редактирование дорожных знаков, горизонтальной разметки, объектов дорожной обстановки, элементов обустройства и оснащения дороги.
- Схематичное создание изображений индивидуальных дорожных знаков.
- Экспорт в файлы форматов EMF, BMP, JPEG, PNG и др.

Саратовский модуль «Проектирование схем дислокации ТС ОДД» выполняет автоматизированное проектирование и разработку проектов организации дорожного движения с возможностью последующего редактирования проектировщиком (рис 2). Модуль предусматривает большое количество настроек. Помимо модуля автоматической дислокации средств ОДД, в программе реализованы инструменты быстрой расстановки этих

объектов (полуавтоматический режим):

- расстановка проектируемых объектов на пересечениях, примыканиях, съездах;
- расстановка проектируемых столбиков на трубах;
- расстановка дублирующих знаков;
- расстановка разметки 1.1 на пересечениях, примыканиях, съездах;
- расстановка знаков 2.2 на пересечениях, примыканиях, съездах;
- расстановка знаков 2.4 на пересечениях, примыканиях, съездах;
- расстановка порядка знаков согласно ГОСТ;
- дублирование фактических ограждений в проектные;
- дублирование фактических тротуаров в проектные;
- дублирование фактических светофоров в проектные;
- дублирование фактического освещения в проектное;
- расстановка направляющих устройств;
- расстановка километровых столбов (знаков 6.13).

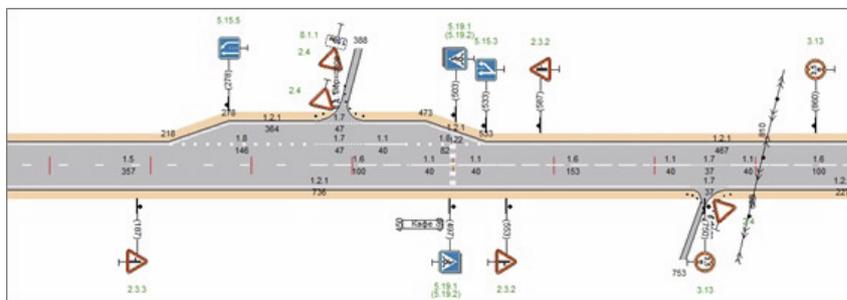


Рис. 1. Фрагмент схемы дислокации в программе CREDO Дислокации 1.2

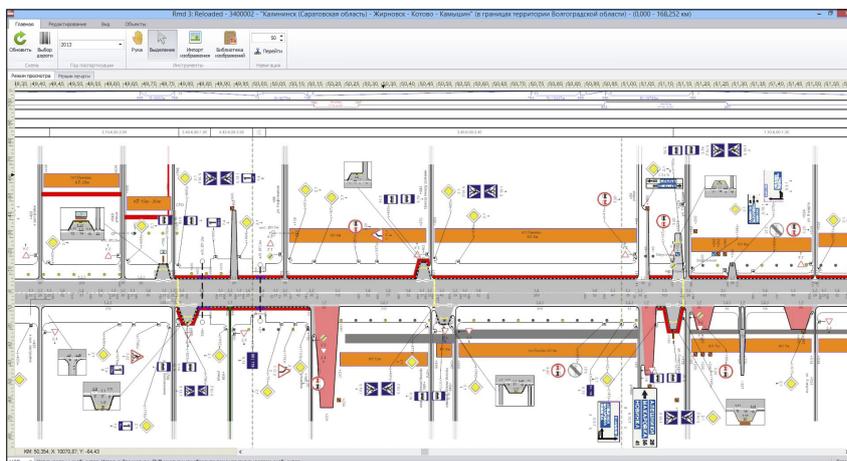


Рис. 2. Фрагмент схемы дислокации в программе «Титул 2005»

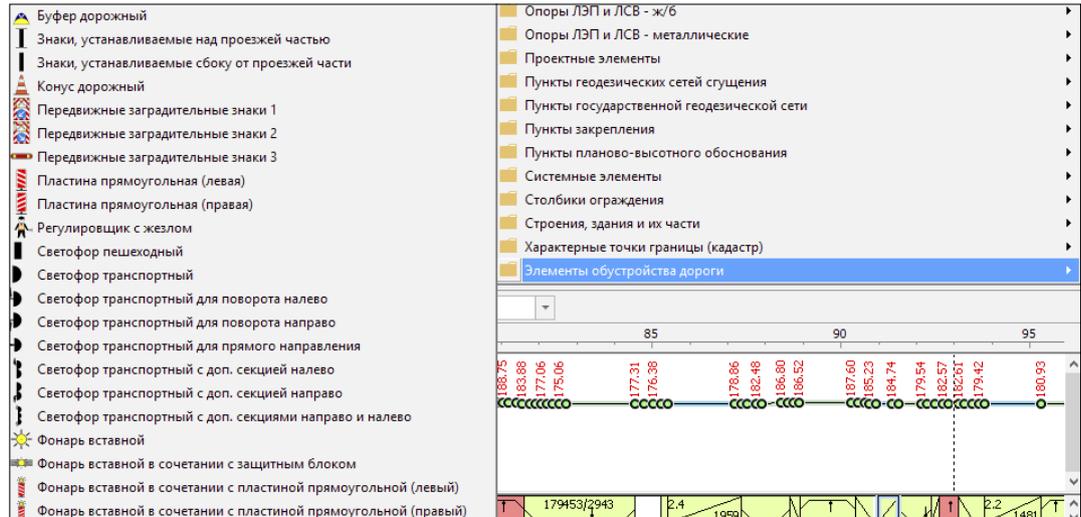


Рис. 3. Библиотеки элементов для обустройства дороги в системе IndorTrafficPlan 9.0

При выборе программного продукта для разработки временных схем организации дорожного движения основным недостатком описанных являлось отсутствие импорта в DWG с целью редактирования условных знаков, временных направляющих устройств (конусы, делиниаторы). В указанных программах не предусматривается передача данных в ГИС [6, 7].

Компания «ИндорСофт» разработала компьютерную программу IndorTrafficPlan 9.0, которая позволяет автоматизировать процесс составления временных схем и подсчёта количества объектов и объёмов материалов. В данной программе разработана большая библиотека элементов временного обустройства дороги на период дорожных работ (рис 3).

Компанией «Индор-Центр» в рамках задания ООО «Автодоринжиниринг» для ремонта покрытия на проезжей части автомобильной дороги М-4 «Дон» I технической категории с разделительной полосой на участке 24 км (км 777 — км 801) были составлены временные схемы на

каждой полосе в двух направлениях. Средняя длина захватки с учётом реальной ситуационной обстановки (наличие съездов, уширений и т.д.) составила 1 км, общее количество временных схем — 48 листов. Без автоматизации процесс мог бы затянуться на пару месяцев.

Одним из главных достоинств программы IndorTrafficPlan 9.0 является интеграция с ГИС-программой госкомпании «Автодор» IndorRoad. Благодаря такой возможности было сокращено время на подготовительные работы — полевые изыскания и составление топоплана дороги на рассматриваемый участок (км 777 — км 801). Получив разрешение на обработку данных из ГИС-базы ГК «Автодор», наша компания смогла оперативно получить данные на проектируемый участок дороги длиной захватки (порядка 1 км). После загрузки в IndorTrafficPlan на полученных схемах были отображены съезды, дорожные знаки, разметка и другие объекты.

Наличие в библиотеке широкого перечня элементов по обустройству дороги позволяет обо-

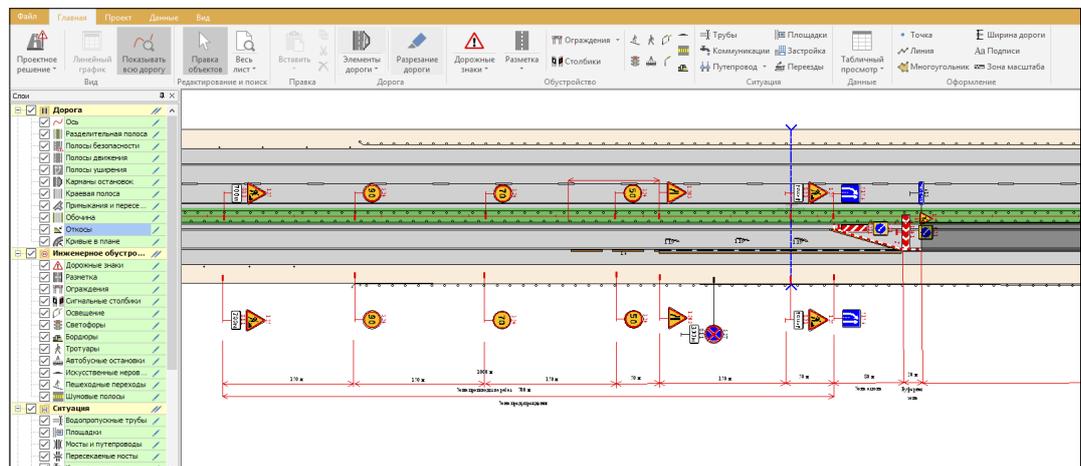


Рис. 4. Фрагмент схемы дислокации в программе IndorTrafficPlan 9.0



Рис. 5. Фрагмент конвертации дорожных знаков, разметки, ограждений в ГИС из IndorTrafficPlan 9.0

значить не только временные дорожные знаки, разметку, но и элементы индивидуального ограждения (водоливные баки, фундаментные блоки стеновые, сигнальные фонари, делинаторы и т.д.) (рис 4).

После составления временных схем движения программой IndorTrafficPlan в автоматическом режиме подсчитывается:

- количество временных дорожных знаков;
- площадь временной разметки;
- количество ограждающих элементов;
- количество направляющих устройств и др.

Возможность обратной интеграции временных схем в ГИС [7] позволяет заказчику оперативно контролировать точность и количество разработанных временных схем, составленных подрядчиком (рис. 5). 

Литература:

1. Федеральный закон Российской Федерации №196-ФЗ от 10.12.1995 (с изменениями 26.07.2017) «О безопасности движения». М., 1995.
2. ГОСТ Р 52289-2004. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств (с изменениями №1, 2). М.: Стандартинформ, 2006. 95 с.
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 3 октября 2013 г. № 864 г. Москва «О федеральной целевой программе "Повышение безопасности дорожного движения в 2013–2020 годах"». М., 2013.
4. ОДМ 218.6.019-2016. Рекомендации по организации движения и ограждению мест производства дорожных работ.
5. СТО АВТОДОР 4.1-2014. Ограждение мест производства дорожных работ на автомобильных дорогах Государственной компании «Автодор». М., 2014. 53 с.

6. Кривопапов А.Д., Петренко Д.А., Скворцов А.В. Разработка проектов организации дорожного движения: настоящее и будущее // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. №2(3). С. 86–92. DOI: 10.17273/CADGIS.2014.2.14
7. Скворцов О.В. Требования безопасности дорожного движения и нормы проектирования автомобильных дорог в России и за рубежом // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. 2008. №4(31).



# IndorTrafficPlan как удобный инструмент для проектирования организации дорожного движения

DOI: 10.17273/CADGIS.2017.2.4

Шакирзянова А.М., технический писатель ООО «ИндорСофт» (г. Томск)  
Кривопапов А.Д., ведущий разработчик «ИндорСофт» (г. Томск)

*Приводится обзор возможностей системы проектирования организации дорожного движения IndorTrafficPlan. Описываются характерные особенности системы и её преимущества для проектировщика. Особое внимание уделяется продвинутой модели данных и способам получения исходных данных. Также приводится список поддерживаемых нормативных документов и список выходных документов.*

В современном мире достаточно сложно представить автомобильную дорогу без установленных на ней объектов инженерного обустройства: дорожной разметки, знаков, различных направляющих устройств и других средств организации дорожного движения, которые обеспечивают безопасность дорожного движения, контролируют движение пешеходов, автомобилей и иных транспортных средств, а также позволяют повысить пропускную способность на сложных участках дороги. Размещение элементов дорожного обустройства на каждой конкретной дороге или даже отдельно взятом участке определяется проектом организации дорожного движения (ПОДД). К тому же на основе анализа существующей системы организации дорожного движения (ОДД) осуществляется разработка комплексной схемы организации дорожного движения (КСОДД). КСОДД представляет собой совокупность инженерно-планировочных и организационно-регулирующих мероприятий, позволяющих оптимальным образом распределять транспортные потоки по автомобильным дорогам города и, соответственно, повышать уровень безопасности дорожного движения [1, 2].

На рынке программного обеспечения представлено большое количество программ для раз-

работки проектов ОДД, как отечественных, так и зарубежных. Однако существенным ограничением при использовании зарубежных программ является отсутствие поддержки российских стандартов на документацию по организации дорожного движения, равно как и существенные различия в правилах и требованиях разных государств к обеспечению безопасности на дорогах. Это приводит к тому, что программные продукты, разрабатываемые на Западе, либо не подходят российскому проектировщику, либо могут использоваться только для решения ограниченного круга задач [2].

Система проектирования организации дорожного движения IndorTrafficPlan (рис. 1) — одна из самых молодых разработок компании «ИндорСофт», её официальный выпуск состоялся в январе 2017 г. За год, прошедший с момента выхода программы, она успела получить положительную оценку и широкое распространение у пользователей России и за рубежом. Система активно развивается, регулярно добавляются новые функции и оптимизируются уже существующие.

В этой статье рассматриваются характерные особенности системы IndorTrafficPlan, выделяющие её на фоне аналогов и позволившие ей стать

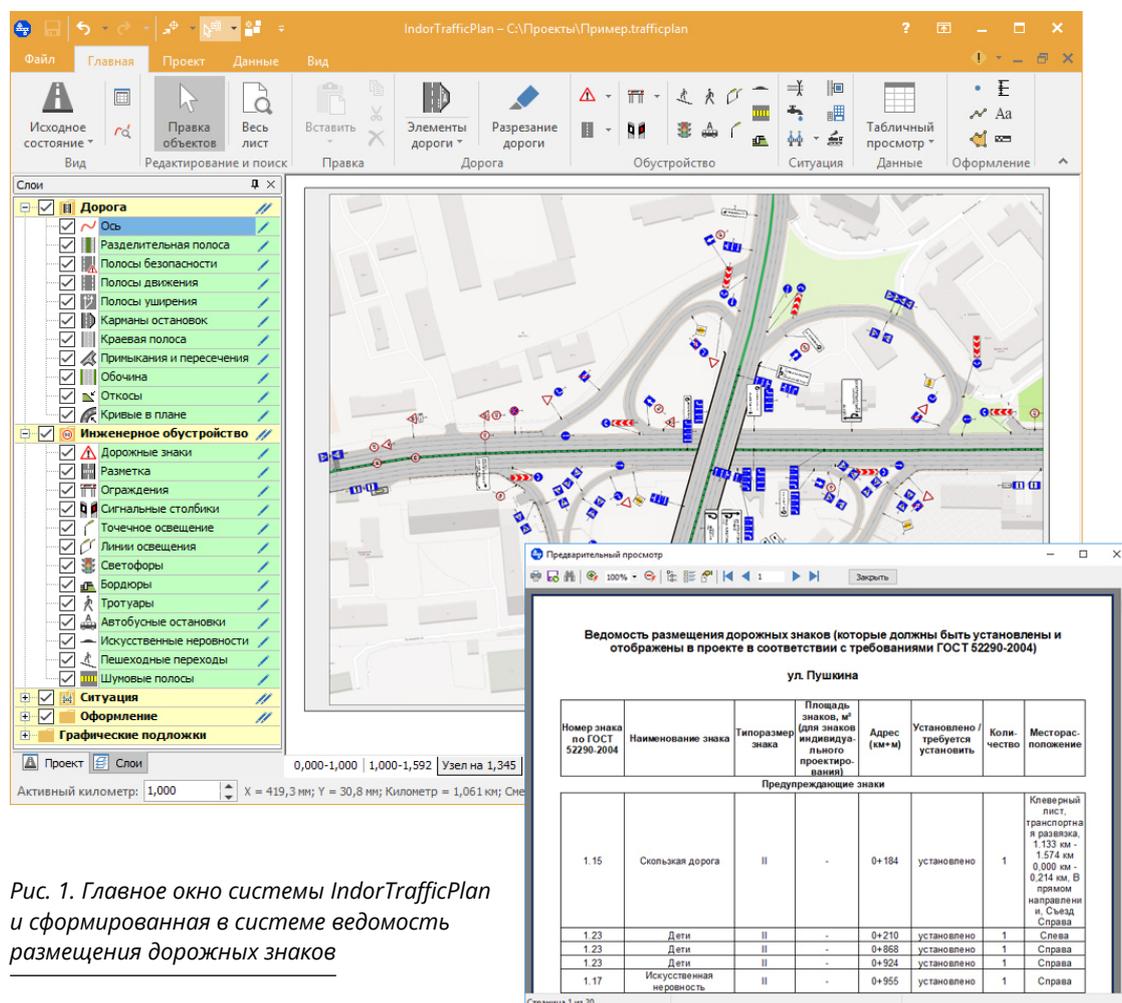


Рис. 1. Главное окно системы IndorTrafficPlan и сформированная в системе ведомость размещения дорожных знаков



Рис. 2. Проект IndorTrafficPlan, полученный с помощью экспорта из ГИС IndorRoad

незаменимым инструментом для инженера-проектировщика.

### Адаптированная модель данных для проектирования ОДД

Ключевой особенностью системы IndorTrafficPlan, выгодно выделяющей её на фоне иных программных продуктов, предназначенных для разработки ПОДД, является использование продвинутой модели данных. Эта модель, адаптированная для проектирования организации дорожного движения, позволяет решать широкий спектр задач, создавая проекты как для отдельных дорог, так и для дорожных узлов, развязок и муниципальных дорожных сетей. В реальном мире узлы и развязки являются частью дороги, а не существуют отдельно от неё. В то же время некоторые системы ограничивают инженера, представляя узлы как отдельные элементы, не связанные с основной дорогой, либо вообще игнорируют их, давая возможность работать только со спрямлённой схемой дороги.

Модель данных IndorTrafficPlan позволяет пользователю хранить и просматривать дороги разной сложности в одном проекте, не нарушая общую картину. Такая универсальность достигается благодаря тому, что программа предоставляет возможность хранить множество различных

данных. Например, при расстановке технических средств ОДД на сложном участке дороги, вместо того чтобы собирать данные по крупницам из разных источников, пользователь может одним щелчком мыши открыть карту и увидеть, как это место выглядит на плане местности, а затем сравнить увиденное с кадром из видеоряда. Возможность быстро переключаться между различными представлениями данных облегчает принятие решения для инженера, предоставляя ему более полную картину происходящего. После того как пользователь определил дальнейший план действий, он может использовать удобный ему инструмент, будь то схема дороги, карта, табличный ввод, чтобы установить новый объект, удалить или изменить существующий. Внесённые изменения сразу же отражаются на других представлениях. При этом все построения, выполняемые на спрямлённом плане, автоматически переносятся на подробный план в реальные координаты и наоборот.

Другим положительным эффектом такой модели данных является простота, с которой пользователь может добавлять в проект новые объекты и изменять существующие. Например, если требуется создать ограждение, начинающееся на основной дороге, огибающее поворот и заканчивающееся на примыкании, то поль-

зователю достаточно указать начальную и конечную точки, а программа автоматически построит ограждение, идеально следующее линиям дороги. Иной случай, если в какой-то момент выполнения проекта выяснится, что первичные данные содержали ошибку, то для исправления этой ошибки пользователю не придётся выполнять множество ненужных действий, повторяя уже выполненную работу. В частности, если инженер подправит ось дороги, изменит ширину разделительной полосы или добавит полосу безопасности, то все прочие линии дороги, равно как и объекты, привязанные к ним, сдвинутся соответствующим образом, чтобы не нарушить целостность данных.

### Различные исходные данные

Немаловажной характеристикой любой системы автоматизированного проектирования является поддерживаемый набор возможных исходных данных. Ведь в зависимости от уровня финансирования и возможностей каждой проектной компании этот на-

бор может быть совершенно разным от компании к компании, и задача современной САПР — предоставить совместимость с наибольшим числом возможных источников данных.

Так, для воссоздания структуры автомобильной дороги в системе реализована возможность импорта трёхмерной оси из текстового и шейп-файла. Такие файлы могут быть получены из других САПР и ГИС, а также с помощью аппаратно-программных комплексов, например дорожных лабораторий. Кроме того, можно указать ось дороги непосредственно на интернет-карте. Исходя из указанного в параметрах оси километра начала, система автоматически вычисляет длину и километр конца оси.

Также система IndorTrafficPlan может использоваться совместно с САПР IndorCAD и ГИС IndorRoad (рис. 2). Это исключает необходимость создания схемы «с чистого листа», позволяя передать информацию о геометрии дороги, продольном профиле и большинстве существующих объектов инженерного обустройства и ситуации [3].

Другим положительным моментом является то, что для автоматизации воссоздания дорожной ситуации и данных о геометрии дороги в системе реализован импорт из текстовых файлов, составленных при помощи дорожных лабораторий, сторонних программ или вручную. В случае если проект организации дорожного движения имеется только в бумажном виде, в системе есть возможность подключения подложек на листы, что упростит воссоздание существующей ситуации.

### Проектирование согласно действующим нормативам

При проектировании средств организации движения важно, чтобы все реализованные в системе библиотеки элементов и объектов были выполнены согласно соответствующим нормативным документам [4].

Дорожная разметка в системе IndorTrafficPlan реализована согласно следующим документам.

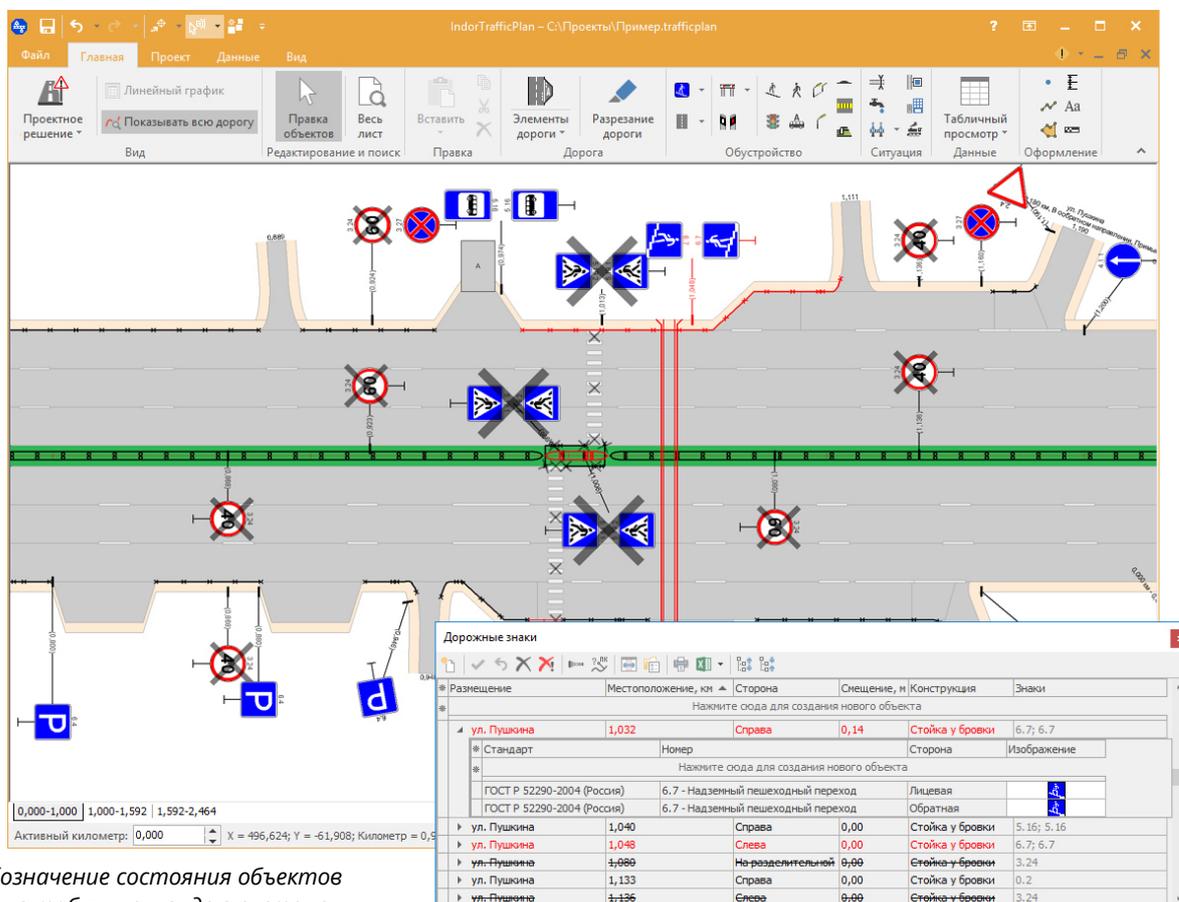


Рис. 3. Обозначение состояния объектов на схеме и в табличном виде в системе IndorTrafficPlan

1. ГОСТ Р 51256–2011 «Технические средства организации дорожного движения. Разметка дорожная. Классификация. Технические требования».
  2. ГОСТ 32953–2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Разметка дорожная. Технические требования (с Поправкой)».
  3. ГОСТ 13508–74 «Разметка дорожная». Предусмотрена возможность создания разметки в соответствии со стандартами других государств.
    1. СТ РК 1124–2003 «Технические средства организации дорожного движения. Разметка дорожная. Технические требования». Астана.
    2. СТБ 1231–2000 «Разметка дорожная. Общие технические условия». Минск.
    3. ДСТУ 2587:2010 «Розмітка дорожня. Загальні технічні вимоги. Методи контролювання. Правила застосування». Киев.
  4. ПНСТ 247–2017 «Экспериментальные технические средства организации дорожного движения. Типоразмеры дорожных знаков. Виды и правила применения дополнительных дорожных знаков. Общие положения». Кроме того, возможно создание дорожных знаков в соответствии со стандартами других государств:
    1. СТ РК 1125–2002 «Технические средства организации дорожного движения. Знаки дорожные. Общие технические требования». Астана.
    2. СТБ 1140–1999 «Технические средства организации дорожного движения. Знаки дорожные. Общие технические условия». Минск.
    3. ДСТУ 4100:2014 «Безпека дорожнього руху. Знаки дорожні. Загальні технічні умови. Правила застосування». Киев.
- Проектирование дорожных знаков осуществляется в соответствии со следующими нормативными документами.
1. ГОСТ 32945–2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Знаки дорожные. Технические требования».
  2. ГОСТ Р 52290–2004 «Технические средства организации дорожного движения. Знаки дорожные. Общие технические требования».
  3. ГОСТ Р 52044–2003 «Наружная реклама на автомобильных дорогах и территориях городских и сельских поселений. Общие технические требования к средствам наружной рекламы. Правила размещения».
- Также система содержит библиотеку типовых марок дорожных ограждений в соответствии с ГОСТ 26804–2012 «Ограждения дорожные металлические барьерного типа» и проект ГОСТ Р–2010 «Пешеходные ограждения на автомобильных дорогах».
- Кроме того, доступен целый ряд других элементов обустройства: светофоры, линии освещения, искусственные неровности, шумовые полосы, бордюры, и ситуации: площадки, коммуникации, здания, трубы, путепроводы, переезды. Также присутствует полная библиотека топографических условных знаков, применяемых для точечных, линейных и площадных объектов [5].

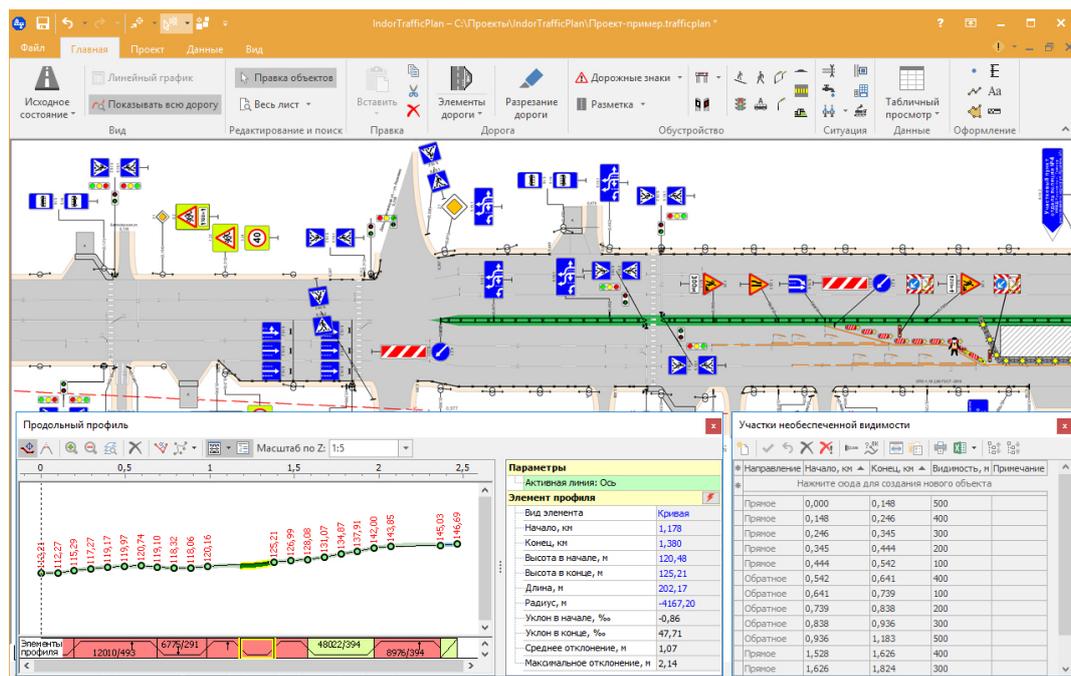


Рис. 4. Отображение участков видимости в продольном профиле и в табличном виде в системе IndorTrafficPlan

Предварительный просмотр

100% 21 Закрывать

**Ведомость размещения дорожных знаков (которые должны быть установлены и отображены в проекте в соответствии с требованиями ГОСТ 52290-2004)**

**ул.79 Гв. Дивизии - Комсомольский просп.**

Номер знака по ГОСТ 52290-2004	Наименование знака	Типоразмер знака	Площадь знаков, м² (для знаков индивидуального проектирования)	Адрес (км+м)	Установлено / требуется установить	Количество	Месторасположение
<b>Предупреждающие знаки</b>							
1.15	Скользкая дорога	II	-	0+573	установлено	1	Слева
1.21	Двустороннее движение	II	-	1+220	установлено	1	Справа
1.15	Скользкая дорога	II	-	1+220	установлено	1	Справа
<b>Итого установлено:</b>						3	
<b>Итого требуется:</b>						0	
<b>Итого:</b>						3	
<b>Знаки приоритета</b>							
2.4	Уступите дорогу	II	-	0+016	установлено	1	На правом съезде
2.4	Уступите дорогу	II	-	0+042	установлено	1	На правом съезде
2.4	Уступите дорогу	II	-	0+552	установлено	1	На левом съезде
2.4	Уступите дорогу	II	-	1+076	установлено	1	На правом съезде
2.1	Главная дорога	0	-	1+220	установлено	1	Справа
<b>Итого установлено:</b>						5	
<b>Итого требуется:</b>						0	
<b>Итого:</b>						5	

Страница 21 из 27

Рис. 5. Ведомость размещения дорожных знаков, сформированная в системе IndorTrafficPlan

## Сравнение исходного состояния и проектного

При разработке проектов ОДД важно различать существующие и проектные элементы обустройства. В связи с этим система IndorTrafficPlan предполагает работу с проектом в одном из двух режимов: в режиме исходного состояния и проектного решения (рис. 3). Для учёта существующих и проектных объектов инженерного обустройства предусмотрены разные состояния объектов обустройства и режимы работы с проектом. Такой подход позволяет отображать различия между исходным и проектным состояниями, которые обозначаются цветами и условными знаками как на схеме, так и в табличном виде.

## Инструменты анализа и контроля

### Продольный профиль

Другим важным моментом при проектировании ОДД является необходимость подкрепления проектного решения конкретными числовыми характеристиками участка дороги. Так, для упрощения принятия решения о необходимости установки тех или иных элементов ОДД в IndorTrafficPlan реализована возможность просмотра и анализа продольного профиля дороги. Система позволяет задать предельно допустимые для конкретной дороги уклоны и радиусы, а затем на основании заданных ограничений визуализирует оценку этих показателей соответствующей цветовой заливкой. Если среди исходных данных отсутствуют отметки профиля, то можно импортировать грубую модель поверхности дороги из интернета.

Для этого достаточно воспользоваться соответствующим режимом.

### Анализ видимости

Другой задачей при обеспечении безопасности на дорогах является выявление участков с недостаточной видимостью. От расстояния видимости зависит схема расстановки средств организации дорожного движения, необходимость установки ограждений и проведения дополнительных мероприятий для приведения дороги в соответствие с требуемой категорией.

Для этого в IndorTrafficPlan имеется специальный инструмент анализа видимости вдоль прямого и обратного направлений на основе указанной минимальной видимости и высоты транспортного средства. Отметим, что случаи ограничений видимости из-за объектов на поворотах можно выявить с помощью более сложной системы, например IndorCAD [6]. Участки с необеспеченной видимостью отображаются в таблицах линейного графика, а также в табличном просмотре (рис. 4).

## Удобная подготовка выходной документации

Важным этапом проектирования организации дорожного движения является подготовка выходной документации — чертежей и ведомостей.

Система IndorTrafficPlan предоставляет большой набор инструментов, позволяющих привести внешний вид схемы дороги к необходимому для формирования чертежей виду. Возможности оформления чертежа не ограничиваются индивидуальными параметрами отображаемых

условных знаков и подписей для каждого типа объектов. Также в системе реализованы дополнительные режимы создания произвольных надписей и различных геометрических фигур, не привязанных к объектам схемы. То же касается и оформления чертёжных штампов: кроме стандартного набора штампов по ГОСТу, каждый пользователь может создать шаблон штампа, принятого в конкретной организации.

Подготовленный чертёж можно передать в систему IndorDraw или экспортировать в различные форматы, например в DWG.

Для подготовки выходных документов в системе предусмотрен большой набор предустановленных ведомостей. По выбранному состоянию проекта можно сформировать ряд отчётных документов согласно «Порядку разработки и утверждения проектов организации дорожного движения на автомобильных дорогах» [7].

1. Сводная ведомость объёмов горизонтальной дорожной разметки;
2. Ведомость дорожных знаков;
3. Ведомость светофорных объектов;
4. Ведомость барьерного ограждения;
5. Ведомость сигнальных столбиков;
6. Ведомость освещения;
7. Ведомость пешеходных переходов;
8. Ведомость пешеходных дорожек (тротуаров);
9. Ведомость пешеходных ограждений;
10. Ведомость остановок общественного транспорта;
11. Ведомость мест для стоянки велосипедов;
12. Ведомость парковочного пространства.
13. Ведомость размещения искусственных неровностей.

Ведомости формируются автоматически, не требуя предварительной настройки, и легко экспортируются во множество форматов для дальнейшего использования и печати (рис. 5).

## Заключение

Система IndorTrafficPlan содержит все необходимые инструменты для создания проектов организации дорожного движения. Реализованный функционал обеспечивает гибкий подход к каждому проекту в зависимости от имеющихся исходных данных и требуемой детализации. Система, адаптированная для проектирования организации дорожного движения, позволяет решать широкий спектр задач, создавая проекты как отдельных дорог, так и для целых развязок и дорожных сетей. В то же время применение инструментов, благодаря которым сокращается количество действий, необходимых для решения тех или иных задач, приводит к росту производительности. ■

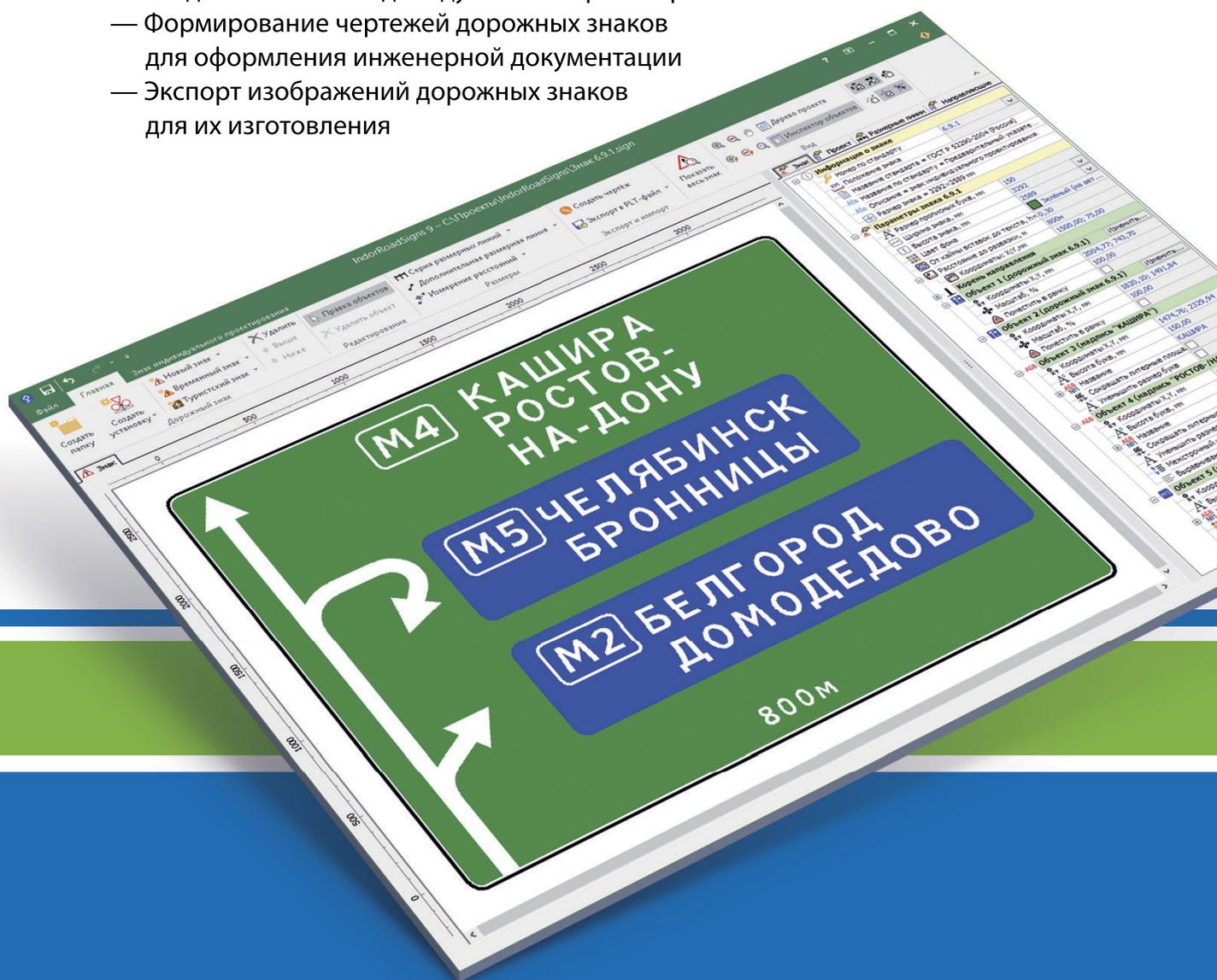
Литература:

1. Приказ Министерства транспорта РФ от 17 марта 2015 г. № 43 «Об утверждении Правил подготовки проектов и схем организации дорожного движения».
2. Кривопапов А.Д., Петренко Д.А., Скворцов А.В. Разработка проектов организации дорожного движения: настоящее и будущее // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. № 2(3). С. 86–92.
3. Снежко И.В., Петренко Д.А. Новые BIM-инструменты в IndorCAD // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2016. № 1(6). С. 28–33. DOI: 10.17273/CADGIS.2016.1.5
4. ГОСТ Р 52289-2004. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств (с Изменениями № 1, 2). М.: Стандартинформ, 2006.
5. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 / Главное управление геодезии и картографии при совете министров СССР. М.: Недра, 1989.
6. Бойков В.Н. IndorCAD 10 как BIM-инструмент анализа проектных решений и обнаружения коллизий [Текст] / В.Н. Бойков и др. // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 2(5). С. 108–113.
7. Порядок разработки и утверждения проектов организации дорожного движения на автомобильных дорогах. М., 2006.



# Проектируйте дорожные знаки в IndorRoadSigns

- Оформление типовых дорожных знаков
- Создание знаков индивидуального проектирования
- Формирование чертежей дорожных знаков для оформления инженерной документации
- Экспорт изображений дорожных знаков для их изготовления



Реклама

Поддержка актуальной нормативной базы:

- ГОСТ 32945–2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Знаки дорожные. Технические требования»
- ГОСТ Р 52290–2004 «Технические средства организации дорожного движения. Знаки дорожные. Общие технические требования»
- СТ РК 1125–2002 «Технические средства организации дорожного движения. Знаки дорожные. Общие технические требования»
- СТБ 1140–2013 «Технические средства организации дорожного движения. Знаки дорожные. Общие технические условия»
- ДСТУ 4100:2014 «Безпека дорожнього руху. Знаки дорожні. Загальні технічні умови. Правила застосування»
- ГОСТ Р 52044–2003 «Наружная реклама на автомобильных дорогах и территориях городских и сельских поселений. Общие технические требования к средствам наружной рекламы. Правила размещения»
- Методическое пособие по созданию туристских знаков, выпущенное Министерством культуры Российской Федерации в 2013 г.

# Анализ применимости БПЛА при геодезическом контроле строящихся и эксплуатируемых автомобильных дорог

DOI: 10.17273/CADGIS.2017.2.5

Суконников О.Г., ведущий инженер ООО «Индор-Центр» (г. Москва)  
Неретин А.А., к.т.н., заместитель директора ООО «Индор-Центр» (г. Москва)  
Гурьев В.А., старший преподаватель кафедры «Геодезия и геоинформатика»  
МАДПУ (МАДИ) (г. Москва)

*Рассматривается вопрос о применении современных технологий в методах получения геопространственных данных в инженерных изысканиях в дорожном строительстве. Приводятся конкретные результаты применения этих технологий, их анализ и краткие выводы о перспективе их применения.*



## Введение

Современные беспилотные летательные аппараты (БПЛА) находят всё более широкое применение в разных сферах хозяйственной деятельности, в том числе и в дорожной отрасли. На сегодняшний день современные технологии позволяют выполнять с помощью БПЛА аэрофотосъёмку, упрощая процесс получения точных геопространственных данных. БПЛА достойно заняли свою нишу при выполнении аэрофотосъёмки небольших территорий до 20 км<sup>2</sup>. Этому способствуют недостатки двух традиционных способов измерений: космической съёмки и съёмки с пилотируемых летательных аппаратов [1]. Данные спутниковой съёмки позволяют получать снимки с максимальным доступным разрешением 0,5 м, что недостаточно для построения крупномасштабных топографических карт и планов. Аэрофотосъёмка, выполняемая с самолётов и вертолётов, требует больших затрат (аренда, стоимость топлива и т.д.). Таким образом, применение БПЛА для съёмки на небольших высотах с целью получения снимков высокого разрешения становится экономически целесообразно.

Оперативность выполнения полевых работ с применением БПЛА позволяет осуществлять мониторинг состояния дорожного покрытия, контроль за выполненными работами по возведению земляного полотна и искусственных сооружений.

Материалы фотосъёмки являются основой создаваемой цифровой модели фактической поверхности, по которой оцениваются объёмы выполненных работ. Построенная цифровая модель может быть использована в дальнейшем в различных программах ГИС и САПР, что облегчает процесс проектирования [2].

Целью проводимых экспериментов компании ООО «Индор-Центр» являлась оценка применения БПЛА для мониторинга дорожно-строительных работ: возведение земляного полотна и укладка различных слоев дорожной одежды.

## Описание технологии и применяемого оборудования

В рамках тестирования методики применения технологии БПЛА в дорожном строительстве для формиро-



Рис. 1. Внешний вид БПЛА DJI Phantom 4 Pro

вания системы оперативного мониторинга и контроля выполненных работ по строительству (реконструкции, модернизации, ремонта) автомобильных дорог компания ООО «Индор-Центр» в конце октября и в середине ноября 2017 г. выполнила две съёмки с БПЛА DJI Phantom 4 Pro (рис. 1). На БПЛА Phantom 4 Pro установлена фотокамера SONY с матрицей с числом эффективных пикселей 20 МП и с углом обзора объектива 84°.

Был выбран опытный участок длиной 600 м на автомобильной дороге первой категории с четырьмя полосами движения в двух направлениях и с разделительной полосой. В одном направлении был уложен верхний слой основания (крупнозернистый асфальтобетон), в обратном направлении был уложен щебёночно-песчаный слой.

Время проведения этих работ выбиралось с учётом погодных условий, которые должны соответствовать требованиям инструкции.

Для планирования маршрута съёмки применялось бесплатное программное обеспечение DJI GS Pro, предоставляемое разработчиком для зарегистрированных пользователей, позволяющее в режиме 3D Map оперативно запрограммировать параметры полёта, наметив на космическом снимке лишь периметр съёмки и задав высоту и степень перекрытия снимков (рис. 2).

Первая аэросъёмка была проведена на высоте 68 м. Количество маршрутов — два. Продольное перекрытие между снимками составило более 80%, а поперечное перекрытие между маршрутами — более 60%.

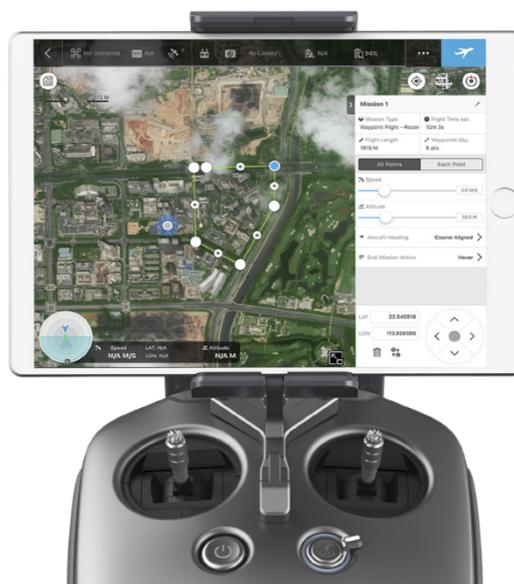


Рис. 2. Интерфейс программного обеспечения DJI GS Pro

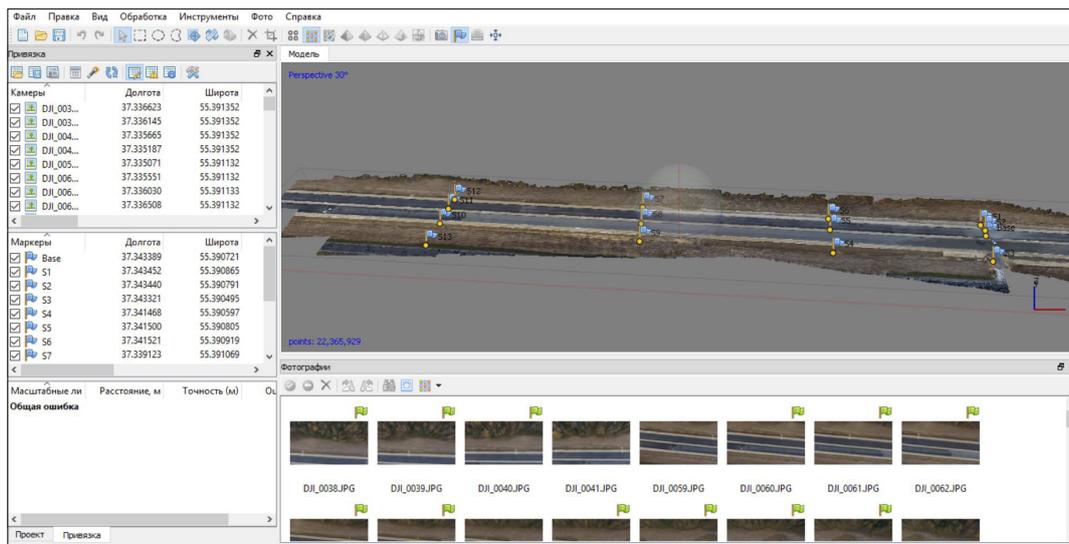


Рис. 3. Обработка снимков в программе PhotoScan

Вторая аэросъёмка проводилась через месяц. За этот период по второму направлению был уложен верхний слой основания (крупнозернистый асфальтобетон). Для выявления оптимальных параметров полёта была назначена высота 45 м, при этом количество маршрутов увеличилось до четырёх.

Помимо этого, осуществлялись GNSS-наблюдения на контрольных (опорных) точках дорожного полотна и точках и точках геодезической разбивочной основы. Параллельно была проведена тахеометрическая съёмка поперечников с шагом порядка 20 м, а также некоторых опорных точек, используемых при воздушной съёмке. Это позволило произвести оценку отклонений измеренных точек от соответствующих точек, полученных на цифровой модели, созданной

фотограмметрическим способом. Для построения модели на основе снимков с БПЛА использовалась программа PhotoScan [3] компании Agisoft, хорошо зарекомендовавшая себя на этом рынке (рис. 3). Обработка данных в PhotoScan достаточно автоматизирована, что позволяет в короткий срок овладеть навыками работы в этой программе и следить лишь за правильностью выставленных параметров обработки.

Окончательным этапом обработки данных в этой программе является экспорт. Это, как правило, плотное облако точек, например, в формате LAS, матрица высот, цифровая модель в формате TIN и ортофотоплан. При значительных объёмах выходных данных предусмотрена возможность получать результат, разбитый на привязанные блоки.



Рис. 4. Вид на объект съёмки с высоты 18 м



Рис. 5. 3D-вид с векторными рамками в программе Global Mapper

С БПЛА в результате первого выполненного полёта было сделано 79 снимков без отбраковки в результате выравнивания, а в результате второго полёта — 150 снимков (рис. 4).

Протяжённость полосы съёмки в первом случае в длину составила порядка 600 м и порядка 80 м в ширину, а во втором — 330 м и 80 м соответственно.

Разные высоты съёмки выбраны с целью выявления зависимости точности построения модели от высоты полёта, а также фактора «смаза» изображения, возникающего при значительных скоростях перемещения фотокамеры [4].

В качестве опорных точек на земле применялись белые пластмассовые одноразовые тарелки диаметром 165 мм, закреплённые дюбелями, которые уверенно опознаются на снимках и позволяют центрировать на их центрах маркеры в программе обработки снимков с точностью одного пикселя, что в нашем случае соответствует 2–2,5 см.

### Обработка данных, анализ и выводы

В результате обработки полученных фотоснимков были созданы плотные облака точек, карты высот, цифровые модели и ортофотопланы. После этого все результаты были загружены в программу Global Mapper для наглядного отображения и анализа, включая 3D-просмотр (рис. 5).

На рис. 6 представлен раздел из отчёта, сформированного в программе Photoscan, посвящённый опорным точкам, созданный при первой съёмке. Аналогичные результаты получены и при обработке второй съёмки в пределах приведённой величины.

В ходе обработки данных съёмки выполнялось построение плотного облака точек с предварительной ориентацией матрицы на основании на-

---

...ошибка по опорным очкам составила 3,4 см (2,5 см в плане и 2,3 см по высоте), при этом разрешение съёмки составило 2,59 см/пикс. Эти цифры характеризуют точность построения цифровой модели.

---

вигационных координат центров фотографирования, где точность составляет несколько метров. И лишь после импорта в программу подсчитанных координат опорных точек и точной расстановки их с помощью специальных маркеров мы получаем точную пространственную модель снимаемого участка в системе координат WGS 84.

В дальнейшем, загрузив все данные по съёмке, мы можем перейти в интересующую систему координат, используя необходимую проекцию и datum [5]. Эти шаги опять же легко выполнить в программе Global Mapper.

Из отчёта PhotoScan по обработке данных съёмки общая ошибка по опорным точкам составила 3,4 см (2,5 см в плане и 2,3 см по высоте), при этом разрешение съёмки составило 2,59 см/пикс. Эти цифры характеризуют точность построения цифровой модели.

Сравнение координат по опорным точкам в плане показало отклонение модели от данных тахеометрической съёмки по пяти точкам в диапазоне от 7 мм до 4,4 см. Такие же цифры с незначительными отклонениями были получены и по второй съёмке.

Отклонение модели по высоте в 35 точках по поперечным профилям на жёсткой поверхности от тахеометрической съёмки составило в среднем 2,9 см.

Были проведены измерения на обеих полосах строящейся трассы в пределах полотен асфальта, ограниченных созданными векторными рамка-

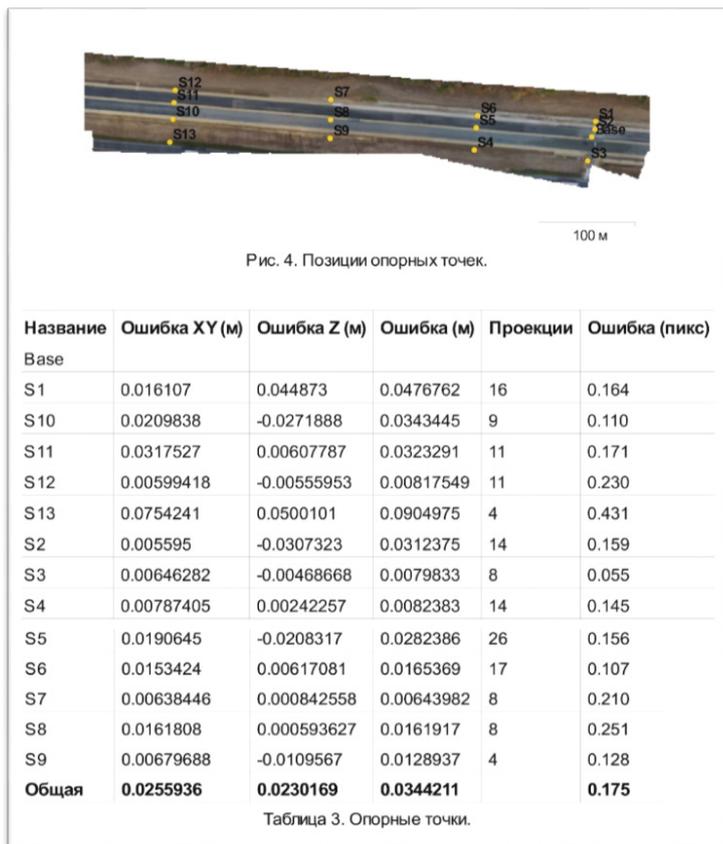


Рис. 6. Раздел отчёта, сформированного в программе Photoscan

ми между пикетами ПК2743 и ПК2745 с целью определения объёма наложенного слоя полотна в промежутке между двумя съёмками (рис. 5). Результаты показали, что точность определения объёма по этой методике составила не грубее 6%.

### Заключение

Проведённый анализ показал, что существует разумный компромисс между высотой съёмки и точностью построения модели местности и создания ортофотоплана. Это предельная высота лежит не ниже 35 м и не выше 70 м от поверхности при заданных параметрах применяемого оборудования. Следует также учитывать то обстоятельство, что при низких полётах значительно возрастает количество снимков, что влияет на время обработки данных в PhotoScan, особенно при достаточно больших площадях снимаемой поверхности. Это также напрямую ограничивает время полёта на одном аккумуляторе.

Учитывается в этом случае и один из самых важных факторов — безопасность полётов, и потому необходимо стремиться максимально избегать рисков столкновения «дрона» с высокими конструкциями и деревьями в зоне съёмки или на её границе. Особенно это актуально для ажурных строений (вышки ЛЭП, провода и ветки деревьев без густой листвы). Более плотные препятствия для DJI Phantom 4 Pro не так опасны, поскольку он достаточно хорошо справляется

с ними благодаря усилиям разработчиков этого БПЛА.

Исходя из полученных результатов и их оценки можно сделать вывод, что подобный метод вполне допустим для проведения оперативного мониторинга и анализа на этапах проектирования, строительства, эксплуатации и технического обслуживания дорог и их инфраструктуры.

Ещё одним способом применения этой технологии может являться оперативное определение с геодезической точностью координат линейных и точечных дефектов дорожного покрытия размером 2 см и крупнее, площадей разрушения, глубины выбоин/трещин, что даёт возможность спрогнозировать состояние дорожного полотна и оценить динамику его разрушения [6].

Полученные в ходе наших испытаний планово-высотные точности (2,5 см в плане и 3 см по высоте) дают перспективы по измерению и оценке колеяности на существующих автомобильных дорогах. ■

### Литература:

1. Официальный сайт компании «Ракурс». URL: <http://www.racurs.ru/> (дата обращения: 30.11.2017).
2. Сарычев Д.С., Скворцов А.В. Автоматизированная технология изысканий в строительном контроле // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2016. № 1(6). С. 20–23. DOI: 10.17273/CADGIS.2016.1.3
3. 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
4. Джарроуш Д. Цифровая камера как практический геодезический инструмент: проблемы и решения // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. № 1(2). С. 52–56. DOI: 10.17273/CADGIS.2014.1.11
5. Гулин В.Н., Миронов С.А., Неретин А.А. Проблема обеспечения единого координатного пространства для объектов дорожной отрасли // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 1(4). С. 75–82. DOI: 10.17273/CADGIS.2015.1.10
6. Коробов Д.А. Использование беспилотных авиационных систем для мониторинга линейных объектов // Молодежный научный вестник: электронный научно-практический журнал. Май 2017. URL: <http://www.mnvnauka.ru/2017/05/Korobow.pdf> (дата обращения: 30.11.2017).

# 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 работы, 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 исключают 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).

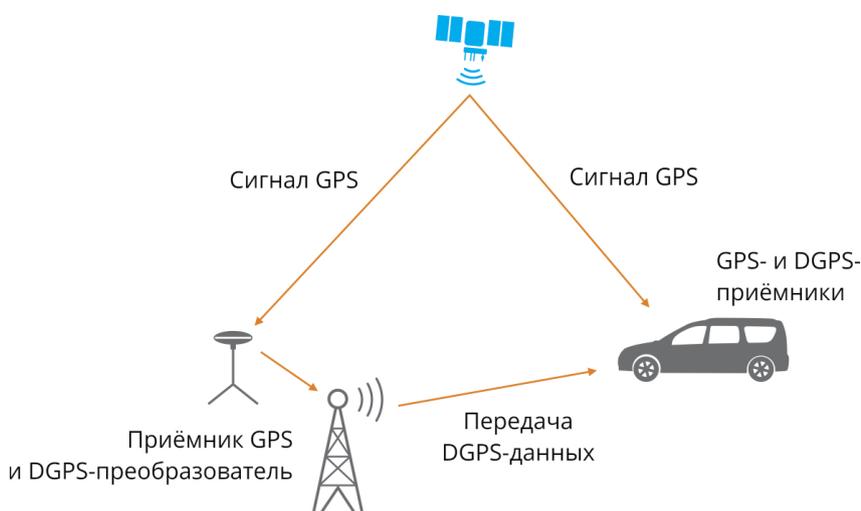


Рис. 2. Выполнение планово-высотных измерений в дифференциальном режиме



Рис. 3. Временная базовая станция

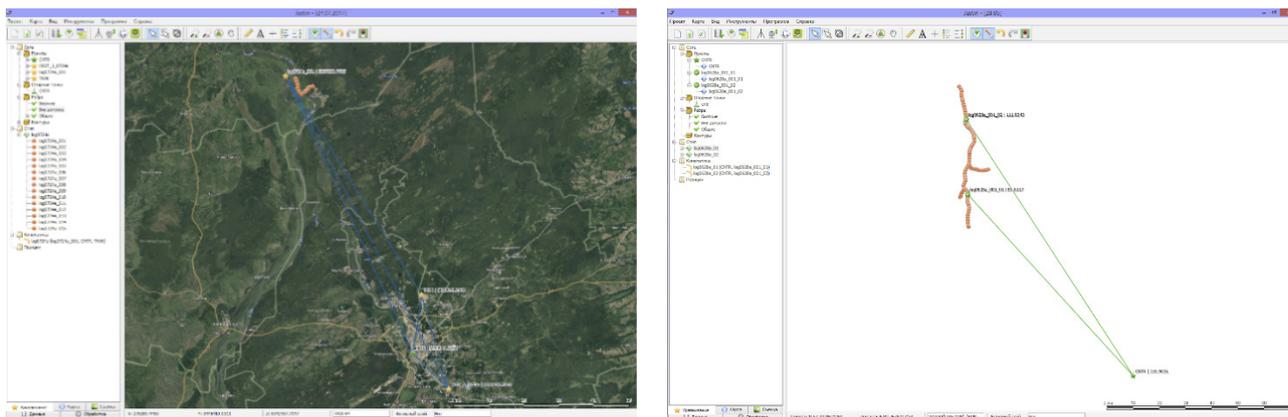


Рис. 4. Обработка спутниковых измерений в Justin

...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

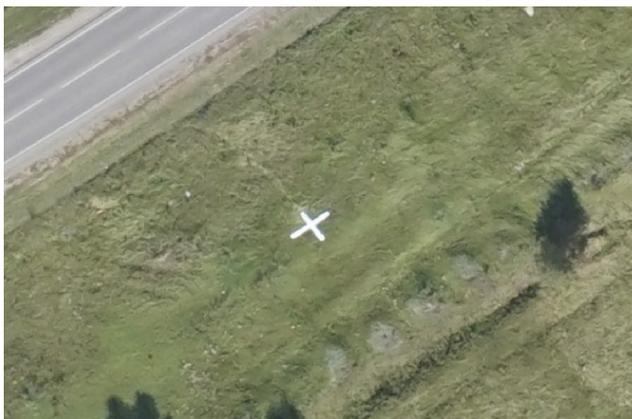


Рис. 5. Закреплённый на местности опознак

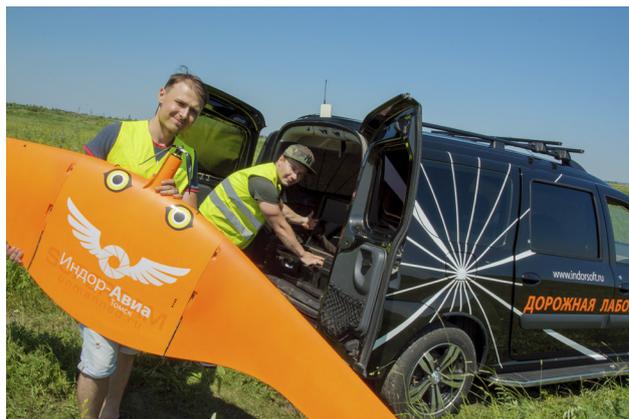


Рис. 6. Пилоты «ИндорСофт» при подготовке к полёту

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 фотосъёмки (КЦФ) снимков;
- на основе опознавания на снимках легко читаемых 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

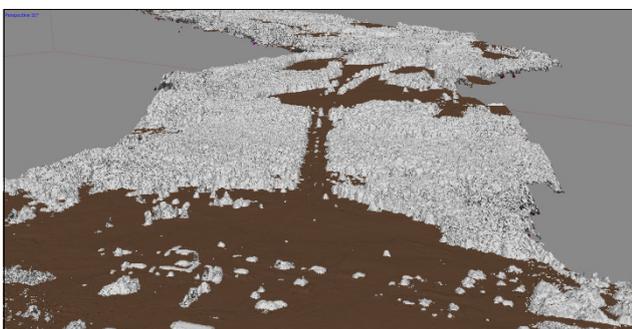


Рис. 10. Классифицированное облако точек

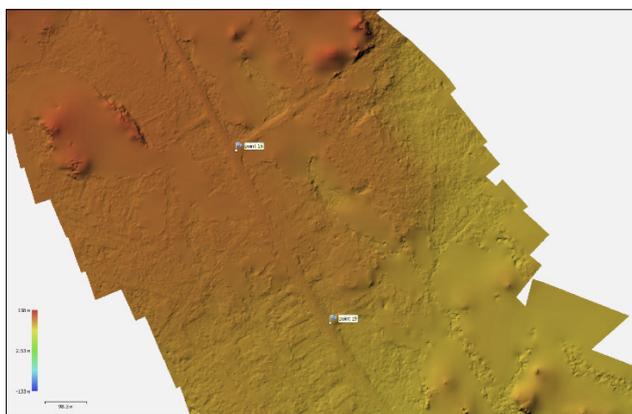


Рис. 11. ЦМР в виде карты высот

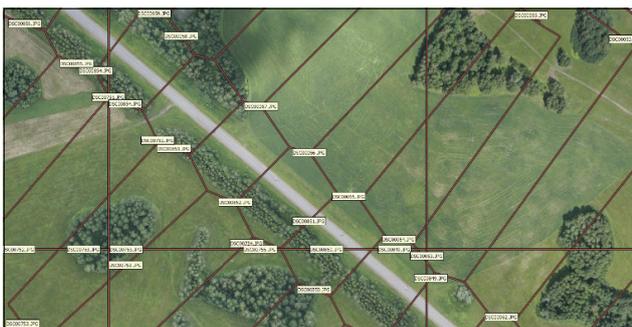


Рис. 12. Линии реза

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

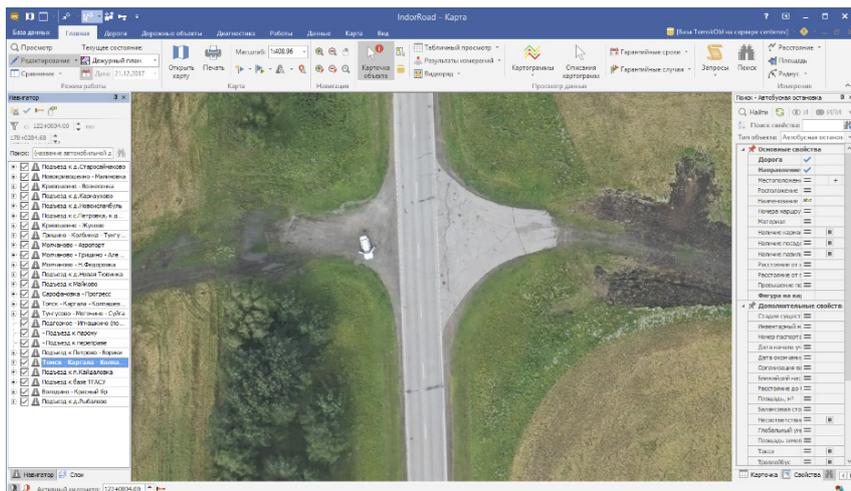


Рис. 13. Ортофотоплан в ГИС IndorRoad

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  $\pm 1$  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

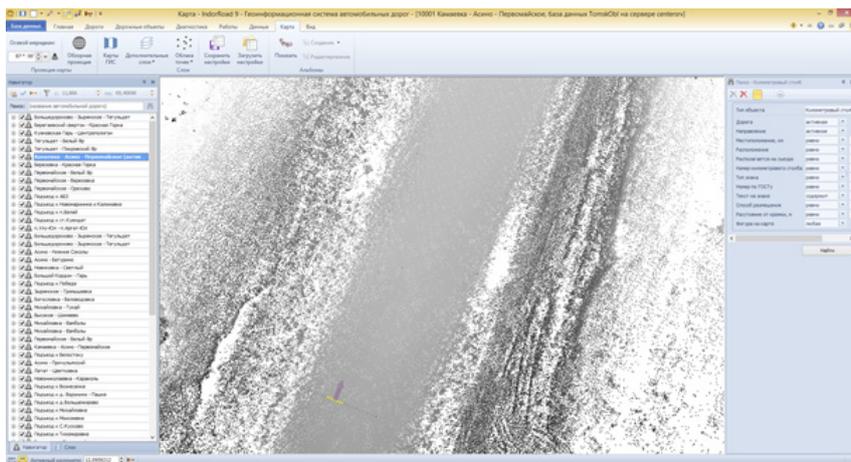


Рис. 15. Облако точек, полученное после двух проездов по автомобильной дороге

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 прямом 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.

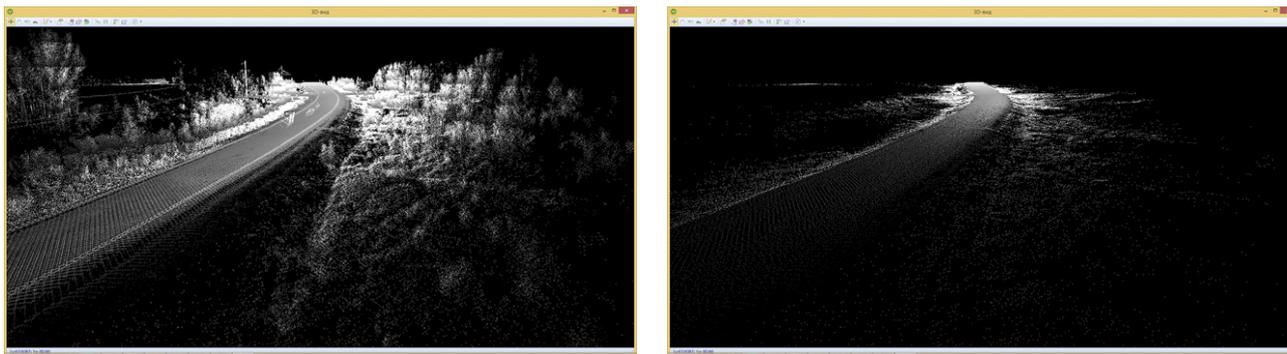


Рис. 16. Облако точек: а) со всей информацией о местности; б) с информацией о рельефе



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 видеочкамера 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.

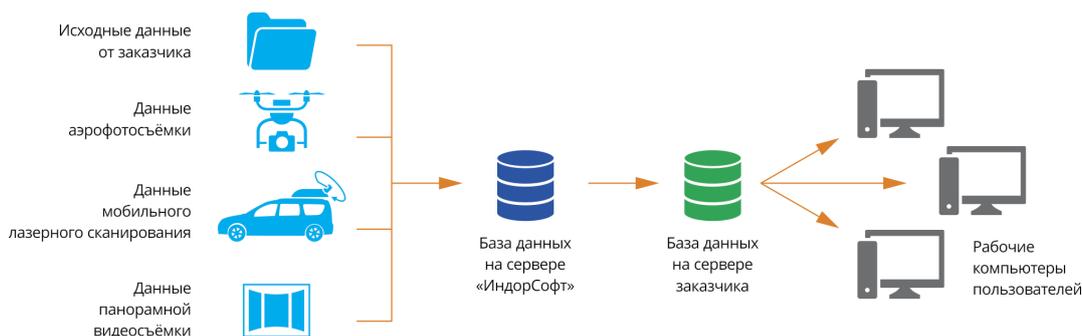


Рис. 19. Клиент-серверная архитектура ГИС IndorRoad

### 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

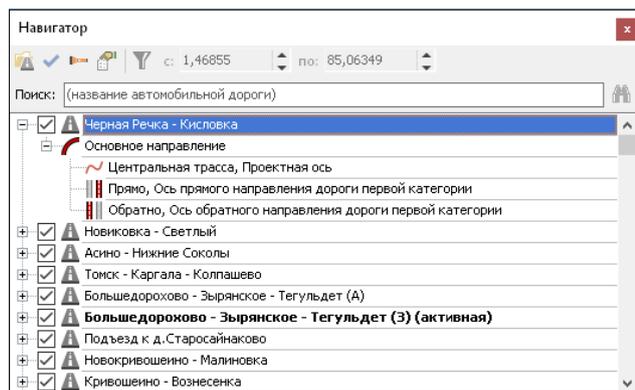


Рис. 20. Окно навигатора системы IndorRoad с иерархией элементов сети автомобильных дорог



Рис. 21. Сеть автомобильных дорог на карте

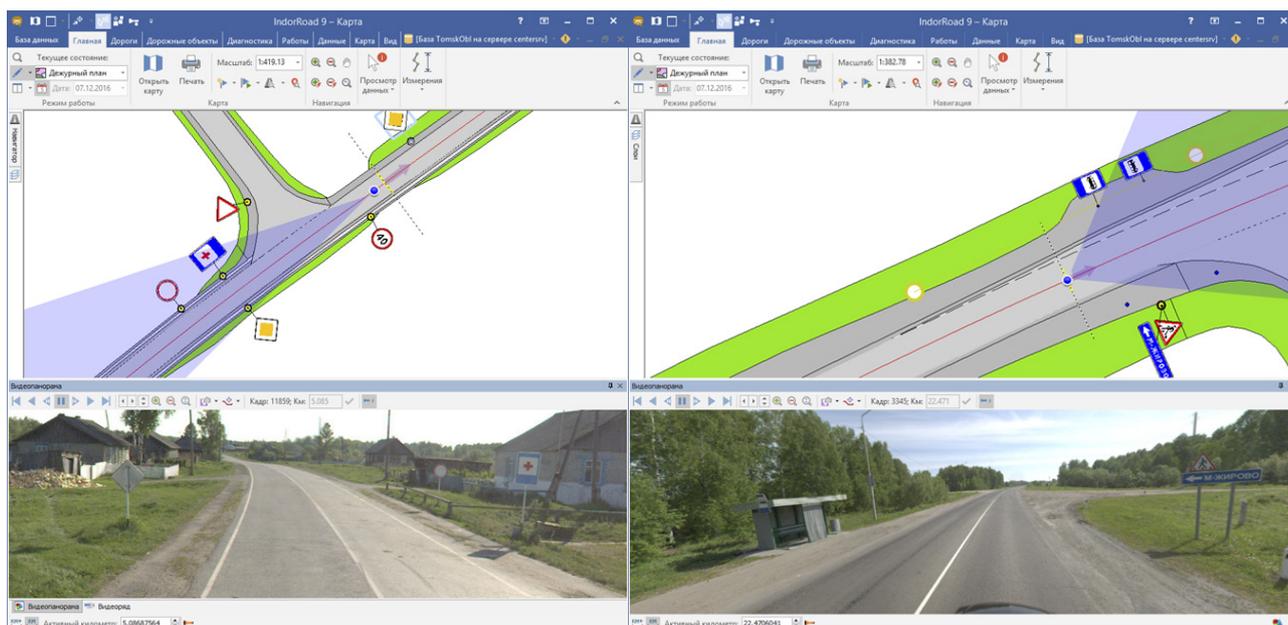


Рис. 22. Кадры панорамного видеоряда с привязкой к километражу дороги

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-

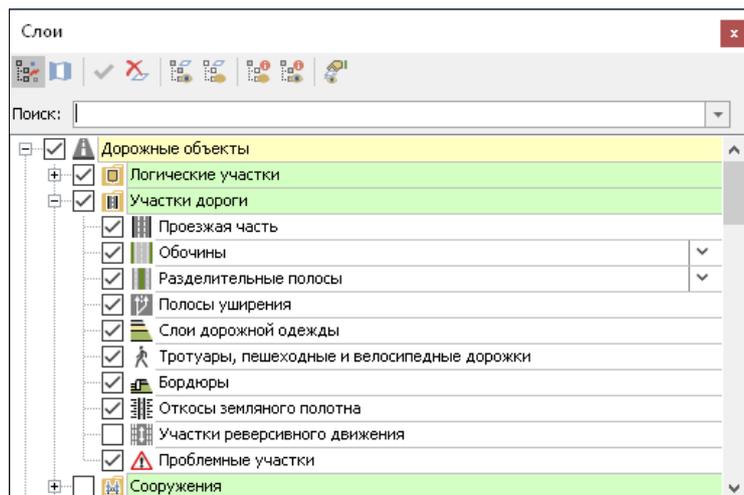


Рис. 23. Объекты в группе «Участки дорог» в ГИС IndorRoad

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-

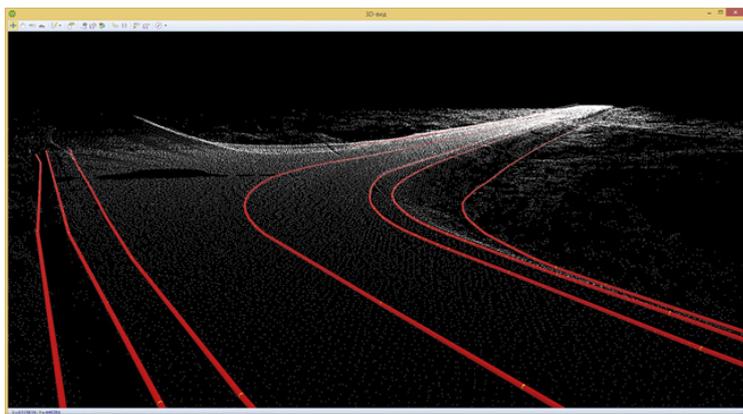


Рис. 24. Оцифрованные линии трассы по облаку точек

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

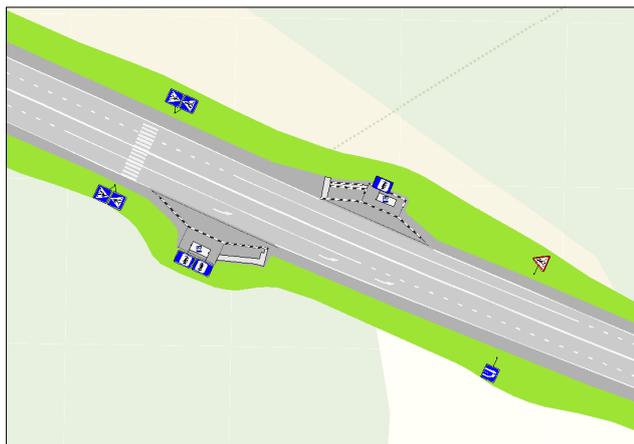


Рис. 25. Инженерное обустройство и остановки на карте в IndorRoad

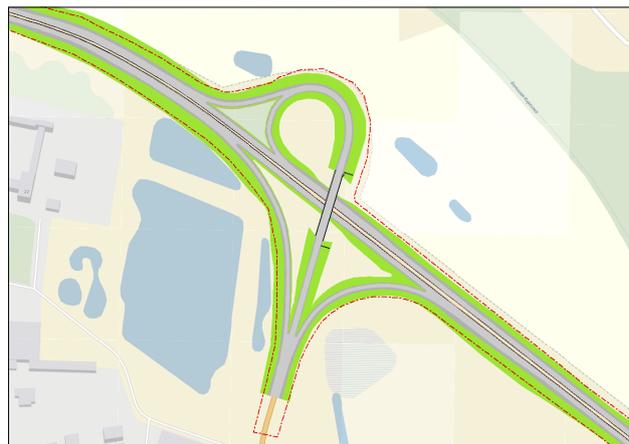


Рис. 26. Полоса отвода на карте в IndorRoad

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-

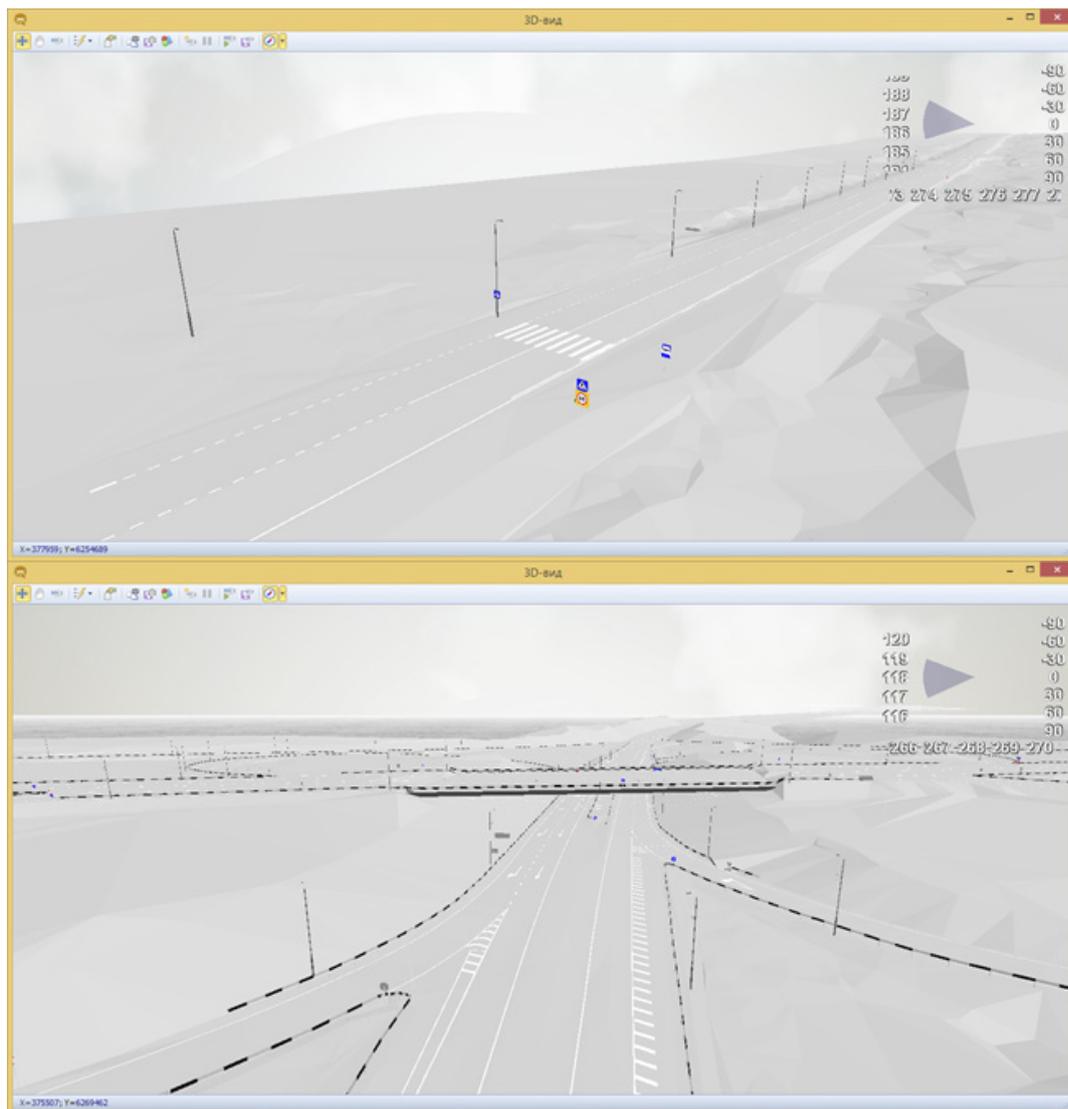


Рис. 27. Трёхмерная модель дороги в пределах полосы отвода

чика, и далее система была передана в промышленную эксплуатацию.

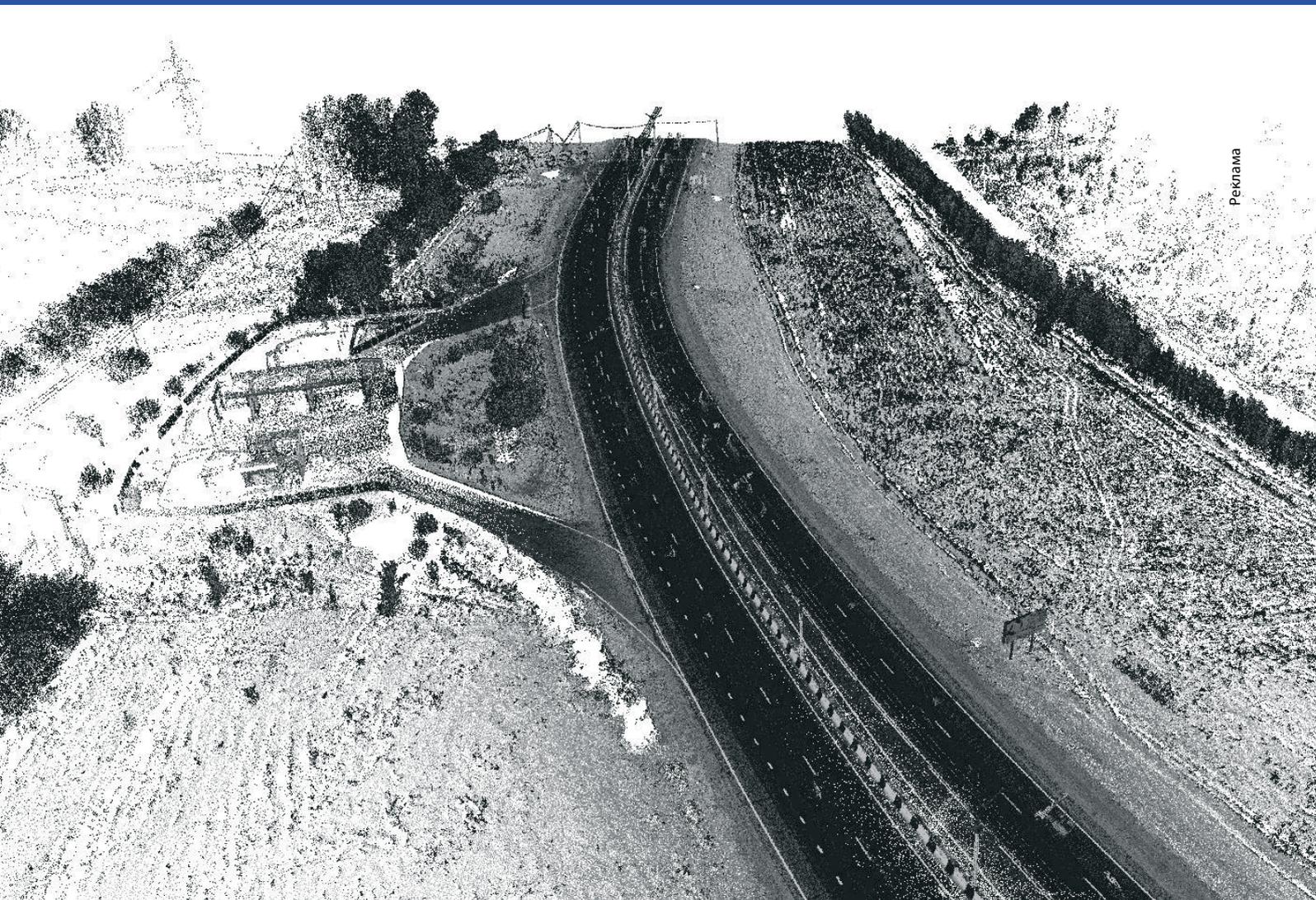
### Заключение

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



Реклама

# Проектируем

автомобильные дороги

в том числе в концепции BIM  
и на основе мобильного  
лазерного сканирования

(3822) 90-10-05  
[www.indor-most.ru](http://www.indor-most.ru)

# Автомагистралли в вихрях истории

DOI: 10.17273/CADGIS.2017.2.7

Кузнецова А.П., начальник отдела продаж ООО «ИндорСофт» (г. Томск)

*Скоростным автомобильным дорогам без году сто лет. За короткое время эти инженерные сооружения стремительно вошли в нашу жизнь и сейчас сложно представить, что когда-то сам вопрос необходимости этих дорог вызывал в обществе горячие споры. Кто, когда и где начал создавать дороги, по которым на автомобиле стало возможным преодолевать сотни километров в час? Ответы на эти вопросы могут утонуть в пучине пропаганды президентов и вождей. Память об именах и трудах инженеров-дорожников, знание их судеб и работ могут стать путеводной звездой дальнейшего развития сетей автомагистралей.*

## Первые скоростные автомобильные дороги в Европе: *autostrada, autobahn*

Со скоростью 100 км/ч можно было передвигаться и в XIX в. — с такой скоростью по железным дорогам уже тогда ходили поезда. В XXI в. железнодорожный транспорт остаётся лидером в сверхскоростных перевозках, доставляя грузы и пассажиров со средней скоростью 300 км/ч. Но автомобильный транспорт продолжает борьбу за каждые дополнительные вёрсты, мили и километры в единицу времени, которая ведётся в союзе со строителями дорог.

В России соперничество автомобиля с поездом началось в 1907 г., когда прошёл первый автопробег Москва—Петербург. Французскому гонщику Дюрэ на автомобиле Дитрих удалось проехать путь между столицами всего за 10 часов, что оказалось на целый час быстрее, чем следовало по более прямому пути курьерский поезд

Николаевской железной дороги [1]. Каждая победа автомобиля над поездом имела огромное значение в отстаивании необходимости строительства автомобильных дорог, которая в начале XX в. была очевидна лишь заядлым автолюбителям.

Дорога, соединявшая столицы, была исключительно гужевой, не предназначенной для автомобилей, хоть и называлась Московским шоссе. Термином шоссе (от фр. *chaussée*) с XIX до середины XX вв. в России обозначали дороги с твёрдым, обычно щебёночным покрытием, позволявшим немного укрепить дорогу в весеннюю и осеннюю поры.

Первыми дорогами для автомобилей можно считать гоночные трассы, которые стали появляться на заре автомобилизации промышленных стран. Проект такой дороги появился в Германии в 1907 г. — *Automobil-Verkehrs und Übungs-Straße* — «дорога для автомобильно-





Рис. 1. Гоночная трасса АФУС. Фото 1937 г.

го движения и упражнений» — AVUS (рис. 1). Но из-за Первой мировой войны к реализации проекта приступили только спустя 14 лет. Открытие трассы АФУС состоялось в 1921 г. Во время первых соревнований её протяжённость составляла 19,5 км, а максимальная скорость, которую удалось развить пилоту, составила 128,8 км/ч. АФУС подтолкнула всю Европу к экспериментам, приблизив начало эры скоростных автомобильных дорог.

Большой вклад в появление скоростных дорог внёс итальянский инженер

и политик *Пьеро Пуричелли* (итал. Piero Puricelli, годы жизни 1883–1951) (рис. 2). В историю он вошёл как «король дорог» [2]. Выходец из аристократической семьи, всегда в строгом костюме и накрахмаленном воротничке. Как и многие богатые люди начала XX в., он был заядлым автолюбителем. Одержимый идеей

с т р о -  
и т е л ь -  
с т в а  
авт о м о -  
б и л ь н ы х

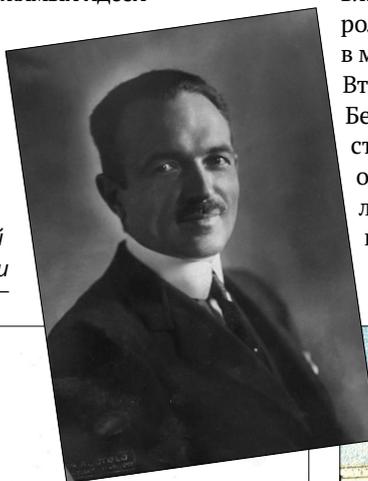


Рис. 2. Итальянский инженер Пьеро Пуричелли, в 1923 г. начал строительство первой скоростной автомобильной дороги



Рис. 3. Autostrada — первая скоростная автомобильная дорога. Италия. Фото 1929 г.

дорог, он получил образование инженера.

В 1922 г. под его руководством в Италии построили гоночную трассу Монца (Monza Autodrome) протяжённостью 10 км [3]. Одновременно Пуричелли обдумывал план строительства «улицы для автомобилей» — автострады (итал. autostrada). Она должна была отличаться от других дорог запретом движения по ней велосипедистов, конного транспорта и пешеходов (рис. 3).

Строить дорогу, принципиально не пересекающуюся с железнодорожными путями, не предназначенную для повозок и лошадей, без съездов и въездов, было революционным решением убеждённого в светлом будущем автомобилизации инженера.

Его проект был признан общественно весомым, что в 20-е гг. прошлого века вызвало резонанс: один автомобиль приходился на 400 итальянцев. В глазах большинства «моторы» выглядели «игрушкой для богатых». Но проект поддержала власть и в 1923 г. в присутствии короля Витторио Эмануэля III первая в мире автомагистраль была открыта. Вторую очередь дороги открывал уже Бенито Муссолини (рис. 4). При нём строительство автострады широко освещалось прессой и преподносилось фашистской пропагандой как великое достижение империи.

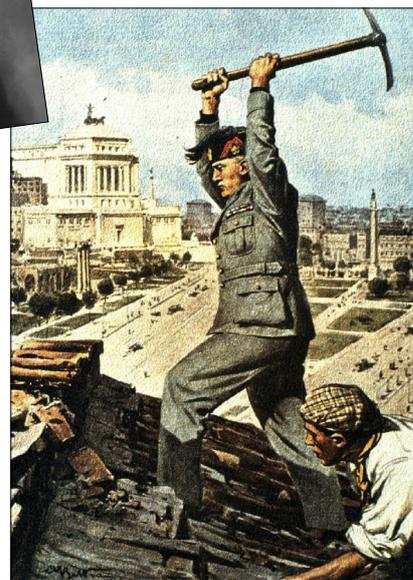


Рис. 4. Б. Муссолини строит дороги — версия итальянской пропаганды



Рис. 5. Фриц Тодт, немецкий инженер, «отец» немецких автобанов



Рис. 6. Фюрер строит автобан — версия немецкого агитпропа

Бетонная дорога длиной в 55 км соединила Милан с Варезе. Она представляла собой одну проезжую часть, состояла из двух полос движения в каждом направлении. Законодательно дорога была оформлена только в 1933 г., когда в Королевском указе впервые дали определение автострады как дороги, предназначенной исключительно для автотранспортных средств.

Чтобы оправдать стоимость строительства и эксплуатации проезд сделали платным [4]. На пунктах взимания платы сотрудники автострады, одетые в специальную униформу, должны были отдавать честь каждому водителю, встречая и провожая проезжающие автомобили. Такой порядок соблюдался до 1946 г.

В 30-е гг. Пуричелли вошёл в рабочую группу Фрица Тодта (нем. Fritz Todt, годы жизни 1891–1942) (рис. 5), провозглашённого в период Третьего рейха «отцом» немецких автобанов. Ф. Тодт получил инженерное образование в Техническом институте Карлсруэ. В 1931 г. защитил докторскую диссертацию «Причины ошибок при строительстве с покрытием дорог из асфальта и дегтя». Строительству автомобильных дорог он посвятил всю свою жизнь. Его инженерные заслуги действительно выдающиеся.

Но Ф. Тодт не был одиночкой: в 20-е гг. в Германии образовывалось сразу несколько обществ и ассоциаций по проектированию и строительству скоростных автодорог. Самое известное из них — «Verein zur Vorbereitung der Autostraße Hansestädte-Frankfurt-Basel» (Ассоциация по подготовке автомобильной дороги Ганза—Франкфурт—Базель). Именно эта группа в 1929–1932 гг. спроектировала и построила первую в Германии скоростную дорогу между городами «Кёльн—Бонн» (20 км). Тогда же началось строительство дороги «Кёльн—Дюссельдорф» и кольцевой дороги вокруг

Кёльна. Новые дороги позволяли ехать на скорости 130 км/ч, хотя ещё редкий автомобиль развивал 60 км/ч.

Изначально эти дороги назывались не автобанами, а Kraftwagenstraße (нем. «автомобильные дороги»). Термин autobahn появился позже. Своим происхождением он обязан аналогии с уже давно введённым в лексикон понятием «айзенбан» — eisenbahn — железные дороги.

Строительство было поддержано местным правительством Рейнской провинции, осознавшим, что это реальный путь решения вопроса безработицы. Такое крупномасштабное строительство позволяло обеспечить рабочими местами десятки тысяч людей. Создание транспортной сети представлялось приоритетным направлением социально-экономической политики [5].

В 1926 г. в 70 томах появился проект строительства федеральной дорожной сети протяженностью более 22 000 км. Официально он был отвергнут. Но с приходом к власти НСДАП в 1933 г. Адольф Гитлер одним из первых своих решений провозгласил начало строительства Имперских автобанов. План Гитлера, повторявший проект 1926 г., был якобы личной идеей фюрера, родившейся в 1924 г., когда Гитлер сидел в тюрьме [6], — так Министерство пропаганды Третьего рейха стало представлять историю имперских автобанов, ставших одним из пунктов национальной идеи сплочения (рис. 6).

Войдя на пьедестал агитационных «идолов», автобаны попали в центр внимания журналистов, фотографов, художников, поэтов, композиторов. Так, в сфере художественной фотографии, обслуживающей автобаны, возникло два направления: техническая съёмка для архитекторов и инженеров и фото-пропаганды, популяризирующие образ автобанов. Поэтому для восхищения совершенством продуманности этих инженер-

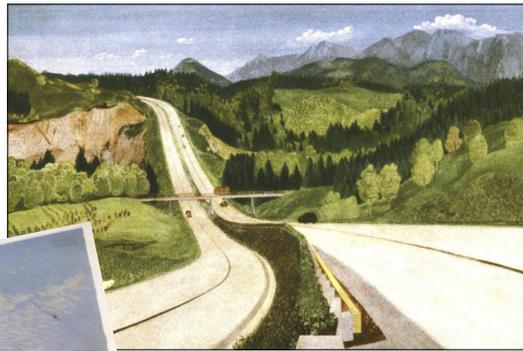


Рис. 7. Вольф Паницца «Автобан у Иршенберга»



Рис. 8. Немецкий плакат с изображением моста через реку Заале неподалеку от Хириберга, 1939 г.

ных сооружений имеется масса материалов (рис. 7, 8).

Если на итальянской автомагистрали встречные потоки не были разделены, то на немецких автобанах сразу проектировались разделительные полосы шириной от 3,5 до 5 м. Эти полосы часто засаживались кустарником, чтобы в тёмное время суток фары встречных автомобилей не слепили водителей. «Поверхность покрывалась бетонными плитами, которые соединялись швами с битумной смолой, что давало вполне допустимый люфт при перепадах температур» [7].

С самого начала огромное внимание уделялось оборудованию автобанов заправочными станциями. Расстояние между заправками закладывалось в 30–40 км. Придорожные гостиницы предусматривались через каждые 150–200 км. Из внимания не выпали и автомастерские.



Рис. 9. Немецкие автомастерские создавали лучшие архитекторы страны

К созданию этих сооружений активно привлекались лучшие архитекторы страны. Проекты автобанов наполнены вниманием к ландшафтному дизайну. Дорога должна была преобразовать, а не уродовать местность, гармонично вписываться в природный ландшафт. Были предусмотрены скотоперегонные арки, шумоизоляция (рис. 9, 10).

Во время строительства 3860 км началась Вторая мировая война. Подготовленный тираж открыток «4000 км» пришлось уничтожить. Являясь символом Третьего рейха, автобаны долгое время были омрачены негативными коннотациями фашизма. Память о создавших их инженерах померкла. П. Пуричелли осудили за сотрудничество с преступниками. Ф. Тодта с пьедестала славы свергли посмертно: в 2000 г. с его могилы снесли памятник «Генеральному инспектору имперских дорог». Память о гениях инженерной мысли пала жертвой идеологической войны, хотя их идеи по сей день остаются основополагающими в проектировании скоростных дорог во всём мире.

### Скоростные дороги США: highways

Америку массовая автомобилизация захлестнула значительно раньше, чем Европу. Уже в начале XX в. собственный автомобиль был у каждого пятого американца. Поэтому протяжённость автомобильных дорог Соединённых Штатов была значительно больше, чем во всех европейских странах, вместе взятых. Дороги строились хаотично, отдельно каждым штатом, а иногда и отдельными группами заинтересованных лиц. Из-за несогласованности они могли дублироваться. Путанная система обозначений маршрутов доставляла водителям дополнительные трудности.

Появлявшиеся автомобильные дороги отличались хорошим покрытием, но они были двухполосными, перегруженными перекрёстками и светофорами. Быстрое и безопасное движение по ним было невозможно.



Рис. 10. Современный экодук в Германии. Проекты автобанов 1930-х гг. уже включали «зелёные мосты»



Рис. 11. Т.Х. МакДональд — инженер, разработавший проект сети автомагистралей США



Рис. 12. Д. Эйзенхауэр (второй слева), чья президентство ассоциируют с Interstate, рядом со знаком «системы межштатных магистралей», названных его именем, и указанный знак на дороге в Новой Каролине



Ключевой фигурой в развитии скоростных автомагистралей в США стал мало кому известный даже среди американцев инженер и политик Томас Харрис Макдональд (англ. Thomas Harris MacDonald, годы жизни 1881–1957) (рис. 11). Именно ему принадлежат все основные проекты по созданию сети американских дорог, реализацию которых приписывали себе президенты, коих на «профессиональном» веку МакДональда было семь.

Как сын торговца зерном и лесоматериалами Макдональд очень хорошо знал о транспортных проблемах своей страны. Он целенаправленно пошёл в колледж за знаниями дорожника (State College of Agricultural and Mechanical Arts) и всю свою жизнь посвятил дорожному делу.

Всеобщие чаяния о решении транспортных проблем железными дорогами тормозили развитие автомобильных дорог. Убеждённость в том, что автотранспорт — лишь дополнение к поездам, мешала автодорогам получить федеральное финансирование.

Чтобы найти средства на развитие скоростных автомобильных дорог МакДональд выдвигает свой революционный тезис: «дороги надо продавать как стиральные порошки». На платные дороги есть спрос, у них есть свой покупатель.

В 1921 г. МакДональд начинает вести пропаганду хороших дорог как обязательной составляющей прав человека. Он выступает на радио, создаёт просветительские и исследовательские советы, готовит учебные материалы для школ, издаёт и распространяет буклеты, создаёт лектории, чем в результате формирует общественное мнение о важности развития автомобильных дорог. Параллельно Макдональд налаживает контакты с отраслями, заинтересованными в федеральном финансировании строительства дорог.

В это же время он делает запрос в армию относительно списка дорог «высочайшей значимо-

сти на случай войны». Получив подробнейший геологический отчёт, Макдональд и его команда составили карту длиной почти в 10 м, где отображали необходимые стране дороги на случай войны. Генерал армии США Джон Першинг сам доложил о результатах этой работы Конгрессу Соединенных Штатов в 1922 г. Он выступил с предложением создания сети дорог, которое сейчас известно как Карта Першинга, лёгшая в основу системы Interstate.

В 1938 г. МакДональд знакомится с опытом создания единой сети автомагистралей Германии, после чего создаёт свой проект Федеральной системы скоростных автомагистралей (Interstate Highway System).

К этому времени МакДональд становится весьма влиятельной персоной, его называли не иначе как chief (англ. «шеф», «начальник») [8]. Политическое могущество инженера вызывало напряжение у президентов. Борьбу с полномочиями «шефа» вёл Франклин Делано Рузвельт, а Дуайд Дэвид Эйзенхауэр и вовсе попросил его отставки.

В 1947 г. МакДональд заявил, что рост личного автотранспорта в крупных городах в скором времени создаст почти неразрешимую проблему, что пришло время основное внимание уделять развитию общественного транспорта, но этот призыв остался не услышанным.

В 1953 г. правительство Эйзенхауэра освободило МакДональда от всех занимаемых им должностей, проводив на пенсию. А в 1954 г. Эйзенхауэр (рис. 12) провозглашает свой великий проект: «Если мы хотим решить проблему загруженности дорог, то вся федеральная система хайвеев должна быть утверждена как единый проект с конкретной датой завершения. Тогда можно будет провести необходимое планирование и инженерную подготовку».

В 1956 г. строительство сети скоростных автомагистралей началось. И сейчас, если спросить



Рис. 13. Строительство Interstate Highways в США: а — фото 1960 г.; б — фото 1964 г.

у рядового американца, что он знает о 34-м президенте США, скорее всего, мы услышим такой ответ: «Он построил Федеральную сеть скоростных дорог».

Реализация этого грандиозного проекта не завершена до сих пор. Но важная роль Interstate в расцвете экономики США отмечается уже в 70-е гг. Строительство дало сотни тысяч рабочих мест. Кроме того, сеть дорог позволила сплотить общенациональный рынок. Теперь экономика страны начала жить не только крупными промышленными городами, но и подключившимися к ней провинциями.

Основное финансирование строительства велось из федерального бюджета. Частично подключали бюджет штатов. Пользователи дорог также вносили свою плату через налоги на бензин, шины, грузовики и т.п.

При проектировании скоростных автомагистралей был учтён германский опыт и проведено множество дополнительных исследований по дизайну дорог, толщине и материалам покрытия и др.

В результате скоростные автомобильные дороги стали проектировать с двумя проезжими частями, отделяя их разделительной полосой шириной не менее 1,5 м. Каждое направление должно было иметь четыре полосы движения шириной по 3,67 м. Обязательными являлись «плечи» дороги — правая обочина шириной 3 м для аварийного съезда и левая шириной не менее 1 м. Повороты в 90° и крутые развороты исключались. Главное условие скоростных дорог (controlled-access highway) — жёсткое

регулирование входа-выхода с трассы через съезды (exit), возможные только через «петли» и полосы разгона и торможения (рис. 13).

Одним из наиболее сложно выполнимых требований было спрямление дорог до максимально допустимого угла подъёма в 6 %. Возможно, его выполнение стало причиной самого грандиозного передвижения земляных масс на планете [9].

В наши дни 78 000 км Interstate Highways — это всего лишь 1 % от всех скоростных дорог Америки, но именно эта сеть ежедневно может пропустить через себя треть всего транспортного потока страны.

Устройство и организация этой федеральной сети скоростных дорог стали лекалом, по образу и подобию которого создаётся инфраструктура в разных странах мира, в том числе и в новой империи автомагистралей — Китае.

### Первые советские автомагистрали

В журнале «За рулём» с 1928 г. идёт полемика о роли автогужевых дорог: являются ли они лишь подводящими путями к железнодорожным станциям и речным пристаням или же могут иметь самостоятельное значение. Появляется мнение о том, что, несмотря на низкий уровень автомобилизации, необходимо начинать строить именно автомобильные дороги. Если в первую пятилетку (1928–1932 гг.) основное внимание было отдано развитию железнодорожного и водного транспорта, то ко второй пятилетке (1933–1937 гг.) уже заявлялось, что

«борьба с бездорожьем — это один из важнейших участков фронта индустриализации нашей страны».

В 30-е гг. кроме планов строительства автогужевых грунтовых дорог стали появляться планы строительства автомагистралей. Изначально говорилось о 17 проектах, затем сконцентрировались на самых основных — «Москва—Минск», «Москва—Киев» и «Москва—Ленинград». В 1935 г. нарком внутренних дел Г.Г. Ягода подготовил докладную записку И.В. Сталину, предложив централизовать все силы на строительстве всего двух магистралей — «Москва—Минск» и «Москва—Киев», приостановив в стране реконструкции и стройки всех других дорог.

Первые проекты советских автомагистралей по своим характеристикам не уступали лучшим хайвеям США и автобанам Германии: «В нём предусматривалась проезжая часть шириной 18 м с трехметровой разделительной полосой. Все пересечения с железнодорожными линиями и автодорогами с усовершенствованным покрытием проектировались на разных уровнях. Параллельно магистрали должен был проходить тракторный путь, через каждые пять километров предполагалось построить каменные арки для перегона скота... Срок ввода в постоянную эксплуатацию — 1942 г.» [10].

В журнале «За рулём» за 1938 г. находим описание строящейся автомагистрали «Москва—Минск»: она рассчитана на скорость 120 км/ч, с хорошей горизонтальной видимостью, плавными радиусами кривых, художественно оформленными мостами, заправками через каждые 50 км и гостиницами

с ресторанами. «На новой дороге устанавливаются тысячи технических и указательных знаков, на всём протяжении магистрали автомобилисты смогут связаться по телефону с любым пунктом Союза» [11].

В принятом к реализации проекте были отвергнуты такие «излишества», как сооружение тракторного пути и арочных перегонов для скота. Пересечение с автогужевыми дорогами было предусмотрено в основном на одном уровне. Ширина магистрали осталась 18 м, в том числе с асфальтобетонным покрытием — 12 м.

Свои сметы по реализации проекта предложили Центральное управление шоссейных и грунтовых дорог и автомобильного транспорта (ЦУДОТРАНС) и Народный комиссариат внутренних дел (НКВД). Вариант чекистов был дешевле и проще. Для обеспечения стройки трудовой силой были организованы исправительно-трудовые лагеря. «Москва—Минск» («Минка») строил Вяземский исправительно-трудовой лагерь (рис. 14).

Несмотря на небывалый размах проекта, строительство особо не освещалось в прессе, всё держалось в строгой секретности. Дорогу военно-стратегического значения, которую строят заключённые, не отдали тиражировать пропаганде. Публикации о новой дороге были редкими, без фотографий. Советская пропаганда была сконцентрирована на строительстве железных дорог (рис. 15).

В Вяземлаге наряду с заключёнными трудились и вольнонаёмные из окрестных деревень. В инженерно-руководящий состав были привлечены специалисты ЦУДОТРАНСа. Главным инженером строительства был Михаил Маркович Левин (годы жизни 1902–1938) (рис. 16), начальником дорожного отдела был Густав Иванович Ландау (годы жизни 1887–1938). Они и их коллеги были опытными специалистами, посвятившими свою жизнь дорожному делу. Так, например, исследования Левина «пучин» на дорожном полотне из-за прорастания спор грибов были широко известны в научных кругах.

Движение «ударничества» облегчало жизнь заключённым в лагере. В Вяземлаге действовал «Центральный Штаб Соревнования и Ударничества» (Штаб «Ц»). Первым председателем штаба «Ц» был начальник лагеря П.А. Петрович. Издавалась газета «За автомагистраль», где рассказывались истории исцеления людей от различных пороков трудовыми буднями. Трудовые рекорды давали возможность получать лучший паёк, дополнительный выходной, сокращение срока.

В августе 1937 г. весь руководяще-инженерный состав Вяземлага объявили «антисоветской, троцкистской, вредительской организацией, ведущей подрывную работу на строительстве». В 1938 г. Левина, Ландау и их коллег расстреляли. Левину приписали «намерение с помощью гри-



Рис. 14. Строительство первой советской автомагистрали, 1938 г.



Рис. 15. При Сталине строительство «Минки» широко не освещалось



Рис. 16. Михаил Левин — главный инженер строительства автомагистрали «Москва — Минск» до 1937 г.

бов испортить дорожное полотно, чтобы убить вождей СССР». Реалии тех лет сейчас выглядят абсурдом. Сами обстоятельства, при которых строилась первая советская магистраль, делают труд дорожников героическим и достойным вечной памяти.

К концу 1940 г. в СССР появилось порядка 700 км новой дороги, отвечающей мировым стандартам скоростных автомагистралей того времени. Газета «Правда» в 1938 г. написала: «Новая дорога, помимо своего экономического значения, даёт богатейший опыт подобных сооружений. На её строительстве воспитана целая армия дорожников, тысячи молодых специалистов, и она, несомненно, окажет большое влияние на развертывающееся огромное строительство дорог в стране». И это действительно правда.



Рис. 17. Автомагистрали России: а) платный участок М1 «Беларусь»; б) участок реконструируемой дороги Р-23 (старое обозначение М-20), соединяющей Санкт-Петербург с Беларуссией и странами Прибалтики

В проекте строительства дороги принимали участие виднейшие учёные дорожники страны — А.И. Анохин, Н.Н. Иванов, Н.В. Орнатский. В 1938 г. под руководством профессора Г.Д. Дубелира были разработаны первые в СССР «Технические условия на сооружение автомобильных дорог и мостов». Практика строительства «Москва—Минск» позволила опробовать теоретическую разработку и в следующем году выпустить доработанное издание, прослужившее дорожникам до 1955 г. Таким образом, можно сказать, что на опыте возведения этой магистрали происходило становление отечественной отрасли строительства дорог высшего класса.

### Скоростные автомагистрали сегодня

Современное определение автомагистралей схоже во всём мире: имеют две и более полосы движения в каждом направлении, полосы въезда и съезда должны быть обособлены, пересечения в одном уровне с другими дорогами и путям не допустимы. Такая дорога должна иметь широкие укрепленные обочины. Радиусы кривизны



Рис. 18. Экодук — первый мост для животных в России появился на платном участке МЗ «Украина»

дороги в плане и профиле должны обеспечивать максимальную видимость, а процент подъёма должен быть минимальным.

В России различают класс автомагистралей (1А) и класс скоростных дорог (1Б). В основе такого деления — организация доступа: на автомагистраль можно попасть только через пересечения с другими автомобильными дорогами на разных уровнях. Одноуровневые пересечения отсутствуют, разноуровневые пересечения допустимы не чаще, чем через 5 км.

У скоростных дорог, кроме пересечений на разных уровнях, разрешены примыкания на одном уровне, устроенные не чаще, чем через 3 км друг от друга.

Российский знак 5.1 «Автомагистраль» разрешает скорость движения 110 км/ч, если не указано иное. В 2013 г. собственнику или владельцу автодорог разрешено устанавливать знак 3.24 «Ограничение максимальной скорости» с цифрой 130. Зная о том, что превышение разрешённой скорости в пределах 20 км/ч не подлежит административному наказанию, многие едут на таких участках со скоростью 149 км/ч. В основном такая скорость возможна только на платных участках новых дорог (рис. 17, а). Но есть и исключения.

Одной из первых современных автомагистралей в нашей стране стала дорога регионального значения «Кемерово—Ленинск-Кузнецкий». С 2011 г. по ней можно ездить со скоростью 130 км/ч, и она является бесплатной.

По состоянию на 2017 г. общая протяжённость платных участков автомагистралей составляет больше 700 км. Они находятся в ведении государственной компании «Автодор» и её концессионеров. Стоимость проезда зависит от разных параметров: времени суток, способа оплаты, расстояния, направления движения и категории транспортного средства. К примеру, за дневной проезд по участку М1 «Беларусь»—Обход Одинцово в Московской области, протяжённость которого составляет порядка 20 км, наличными необходимо заплатить около 200 руб. При этом время движения составит примерно 15 мин. Бесплатный проезд по старой дороге без пробок занимает 25 мин, но в часы-пик это время многократно увеличивается.



Рис. 19. Правительство РФ нацелено создать сеть автомагистралей и скоростных автомобильных дорог

От общей протяжённости дорог РФ, а это свыше 1 500 000 км, автомагистрали составляют весьма малую часть (рис. 17, б; 18). Пока это разрозненные участки федеральных, реже региональных трасс, не соединённых в единую сеть.

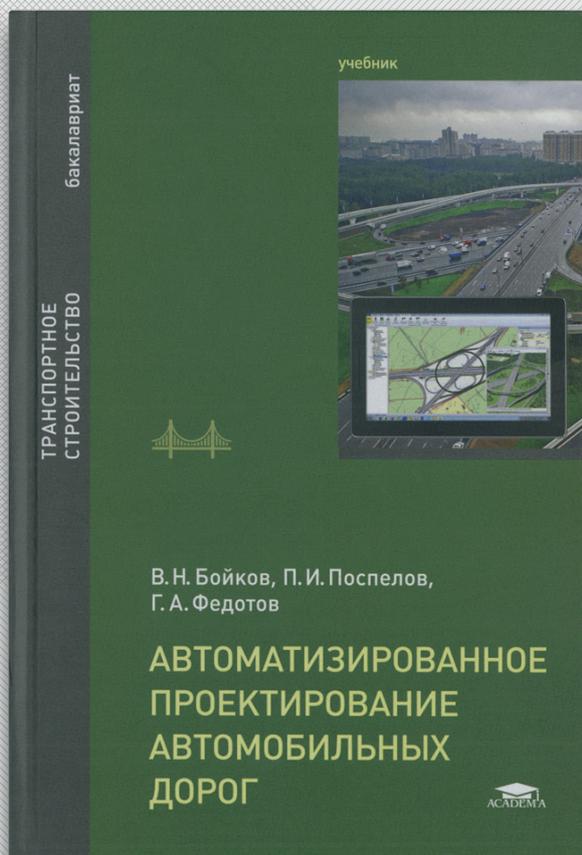
В рамках принятых Правительством программ и стратегии в России к 2030 г. должна быть создана сеть автомагистралей и скоростных автомобильных дорог протяжённостью в 20 000 км (рис. 19) [12]. В разработке стратегии учтён опыт США, лидера по протяжённости сети автомагистралей в XX в. (77 000 км за 50 лет), и Китая, создавшего за 30 лет свою сеть «Сеть 7-9-18» протяжённостью в 123 000 км. ■

#### Литература:

1. Эскина В. Имперский размах: что писала про автомобили российская пресса в начале XX века. URL: <http://www.kolesa.ru/article/imperskij-razmah-cto-pisala-pro-avtomobili-rossijskaja-pressa-v-nachale-xx-veka-2015-05-07> (дата обращения: 11.12.2017).
2. Lenarduzzi, T. The motorway that built Italy: Piero Puricelli's masterpiece is the force of an unlikely Pilgrimage. URL: <http://www.independent.co.uk/travel/europe/the-worlds-first-motorway-piero-puricellis-masterpiece-is-the-focus-of-an-unlikely-pilgrimage-a6840816.html> (дата обращения: 11.12.2017).
3. Prima autostrada costruita in italia. URL: <http://capanna.angarsm.ru/prima-autostrada-costruita-in-italia> (дата обращения: 11.12.2017).
4. Wikipedia. Autostrada dei Laghi URL: <http://dictionary.sensagent.com/Autostrada%20dei%20Laghi/it-it> (дата обращения: 11.12.2017).
5. Автобаны Германии. История. URL: <http://novoe.de/index.php/autobahn/838-autobahn-geschichte> (дата обращения: 11.12.2017).
6. Загоскина К. Немецкий автобан. Почему предельная скорость не опасна? URL: [https://www.drive2.ru/b/467415588180852995/?page=17&utm\\_referrer=&fa821dba\\_ipp\\_uid=20912VdKikKNxuX%2fMRyZrMZA4rdyNZkTm%2bLuIA%3d%3d&fa821dba\\_ipp\\_uid=1509150960987&fa821dba\\_ipp\\_key=1512989161403%2FQwtTwzNztM6Omcx2LuDxFA%3d%3d](https://www.drive2.ru/b/467415588180852995/?page=17&utm_referrer=&fa821dba_ipp_uid=20912VdKikKNxuX%2fMRyZrMZA4rdyNZkTm%2bLuIA%3d%3d&fa821dba_ipp_uid=1509150960987&fa821dba_ipp_key=1512989161403%2FQwtTwzNztM6Omcx2LuDxFA%3d%3d) (дата обращения: 11.12.2017).
7. Дейнека П. Дороги империи ‚Reichsautobahnen‘. URL: <http://kapitel-spb.ru/article/%D0%BF-%D0%B4%D0%B5%D0%B9%D0%BD%D0%B5%D0%BA%D0%B0-%D0%B4%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B3%D0%B8-%D0%B8%D0%BC%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%B8-reichsautobahnen> (дата обращения: 11.12.2017).
8. MacDonald, T.H. The Transportation Heroes Center. URL: <http://www.transportationheroes.org/heroDetail.php?id=73> (дата обращения: 11.12.2017).
9. Mechanismone. Записки нефтяника. URL: <https://mechanismone.livejournal.com/14761.html> (дата обращения: 11.12.2017).
10. Корнилова О.В. Как строили автомагистраль Москва—Минск (1936—1941 гг.) / под ред. Е.В. Кодина. Смоленск: Свиток, 2014. 248 с.
11. Автомагистраль Москва—Минск // За рулём. 1938. № 11. С. 18.
12. Стратегическая сессия «Сеть автомагистралей и скоростных автомобильных дорог к 2030 г.». URL: [http://dorkonf-ekt.com/uploadedFiles/files/2-22\\_1.pdf](http://dorkonf-ekt.com/uploadedFiles/files/2-22_1.pdf) (дата обращения: 11.12.2017).

Что делает студента  
умным?

# Правильный учебник



Издательский центр «Академия» выпустил в свет учебник для студентов учреждений высшего образования, обучающихся по направлению подготовки бакалавров «Строительство» (профиль подготовки «Автомобильные дороги»). Учебник «Автоматизированное проектирование автомобильных дорог» вышел под редакцией В.Н. Бойкова, профессора МАДИ и руководителя группы компаний «Индор». Купить учебник можно на сайте издательства и в компании «ИндорСофт».

Кроме Владимира Николаевича Бойкова, над учебником работали профессор, доктор технических наук и академики РАТ, заслуженные деятели науки РФ П.И. Поспелов и Г.А. Федотов.

Практические примеры теоретических основ проектирования выполнены в таких системах проектирования, как IndorCAD, CREDO, «Топоматик Robur» и AutoCAD Civil 3D.

Студенты узнают о видах и средствах изысканий при проектировании автомобильных дорог, научатся строить цифровые модели местности на основе триангуляции, освоят методы и алгоритмы автоматизированного проектирования

дорог при их строительстве, реконструкции и ремонте. Отдельные главы учебника освещают процедуры обработки ЦММ, проектирования плана трассы, продольного и поперечных профилей, дорожной одежды, искусственных сооружений, инженерного обустройства, расчёта объёмов дорожных одежд, оценки проектных решений и формирования проектной документации.

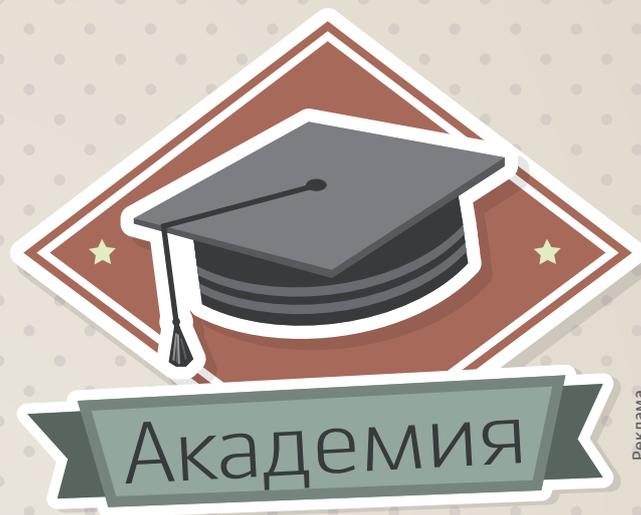
Также в учебнике можно найти интересные факты из истории развития систем автоматизированного проектирования (САПР) автомобильных дорог. Так, например, первые отечественные работы по автоматизированному проектированию продольного профиля появились уже в 60-х годах прошлого века. Компьютеры СМ-1420, на которых создавались прообразы будущих САПР автомобильных дорог, имели встроенную оперативную память ёмкостью всего 248 килобайт. А первая САПР на базе ЕС ЭВМ-1022 была запущена в 1982 г. в проектно-институте «Союздорпроект» Минстроя СССР.

Современные САПР автомобильных дорог позволяют выработать основные проектные решения по дороге и подготовить соответствующую табличную и чертёжную документацию. Однако, как бы далеко ни ушло в своём развитии программное обеспечение по проектированию дорог, роль инженера-проектировщика остаётся заглавной. Во многом именно от его знаний теоретических основ проектирования и владения компьютерными инструментами выработки оптимальных проектных решений зависит качество наших дорог.

## «ИндорАкадемия»

программа академического партнёрства  
на образовательном уровне

Образовательный процесс в учебном заведении должен быть построен так, чтобы из стен вузов выпускались востребованные специалисты. Наибольшим спросом будут пользоваться те выпускники, которые уже во время учёбы овладели современными инструментами работы. Чтобы обеспечить высокий уровень подготовки студентов в области проектирования, строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог и городских улиц, учебным заведениям необходимо иметь современное программное и методическое обеспечение. Его можно получить, вступив в академическое партнёрство с компанией «ИндорСофт». О возможностях такого партнёрства и о том, как эти возможности получить, узнайте из нашей программы «ИндорАкадемия».



Реклама

Являясь одним из лидеров отечественного рынка САПР и ГИС автомобильных дорог, компания «ИндорСофт» предлагает образовательное сотрудничество преподавателям и студентам профильных специальностей. Что же даёт участнику программа академического партнёрства?

### Современное программное обеспечение

Сотни передовых организаций дорожного хозяйства используют в своей работе программные продукты компании «ИндорСофт». Поэтому будущему инженеру, технику или управленцу важно ещё во время учёбы овладеть современными инструментами работы.

Для аудиторных занятий, а также для индивидуального обучения работе с ПО компании «ИндорСофт» участники академического партнёрства получают доступ к нашим программным продуктам:

- IndorCAD/Road: система проектирования автомобильных дорог;
- IndorTrafficPlan: система проектирования организации дорожного движения;
- IndorPavement: система расчёта конструкций дорожных одежд;
- IndorCulvert: система проектирования водопропускных труб;
- IndorRoad: геоинформационная система автомобильных дорог;
- IndorRoadSigns: система проектирования дорожных знаков;
- IndorMap: универсальная геоинформационная система.

### Техническая и методическая поддержка

Уже сейчас на нашем сайте доступны дистанционные курсы обучения, а также документация с подробным описанием функциональных возможностей систем. Кроме того, можно задать вопросы специалистам техподдержки компании «ИндорСофт» и получить исчерпывающий ответ.

Мы постоянно пополняем нашу библиотеку учебных методических пособий, лабораторных работ и курсов, разработанных на основе использования наших систем. Наиболее успешные материалы получают широкое распространение в преподавательской среде.

### Обучение преподавательского состава

Для преподавателей вузов, участвующих в программе «ИндорМагистр», проводятся индивидуальные консультации, стажировки и обучение с возможностью получения удостоверений государственного образца о прохождении курсов повышения квалификации.

### Мотивационные мероприятия

Компания «ИндорСофт» ежегодно проводит конкурсы проектов, награждая авторов лучших работ ценными призами. Студенты более охотно погружаются в работу над проектом, который будет оцениваться не только в стенах родного вуза, но и профессиональным сообществом. Победа в конкурсе даёт большие преимущества при поиске работы.

### Журнал «САПР и ГИС автомобильных дорог»

Хотите быть в курсе инновационных технологий проектирования и управления в области дорожного хозяйства? Читайте «САПР и ГИС автомобильных дорог». Автоматически стать подписчиком издания позволяет участие в программе «ИндорАкадемия». Более того, преподаватели академического партнёрства получают возможность опубликовать свои собственные статьи на страницах профессионального издания.



## IndorRoad

Геоинформационная система  
автомобильных дорог

- управление сетями автомобильных дорог
- ведение дежурного плана и карты дорог
- ведение паспортов автомобильных дорог
- обработка материалов диагностики
- планирование и учёт работ по содержанию, ремонту, реконструкции и строительству
- учёт и анализ интенсивности движения
- учёт и анализ дорожно-транспортных происшествий
- планирование мероприятий по БДД
- управление земельно-имущественным комплексом (кадастр и инвентаризация)
- проектирование организации дорожного движения