



Строительство автомобильных дорог на основе 3D-моделей

Райкова Л.С., технический писатель ООО «ИндорСофт» (г. Томск)
Петренко Д.А., технический директор ООО «ИндорСофт» (г. Томск)

Рассказывается об основных принципах работы трёхмерных систем автоматизированного управления строительной техникой. Особое внимание уделяется способам получения исходных данных — 3D-моделей дороги, — необходимых для работы таких систем. Рассматриваются преимущества использования 3D-систем управления строительной техникой, а также сложности при их внедрении и эксплуатации.

Строительство автомобильной дороги подразумевает выполнение целого комплекса мероприятий [1, 2], включающих в том числе геодезические разбивочные работы и вынос проекта на местность, земляные работы, укладку нескольких слоёв дорожной одежды, устройство водоотводных и дренажных систем и пр. По завершении каждого этапа производятся мероприятия по контролю соответствия выполненных работ проекту с подписанием соответствующих актов, а по окончании строительства — приёмка автомобильной дороги в эксплуатацию. Многие этапы дорожного строительства являются весьма длительными и трудоёмкими и требуют участия большого количества квалифицированных специалистов. При этом требования к качеству дорог растут с каждым годом, а сроки, наоборот, сжимаются, поэтому без применения современных технологий дорожно-строительным компаниям трудно оставаться конкурентоспособными и удерживать свои позиции на рынке. Технологии, между тем, не стоят на месте: появляются новые разработки в области геодезического оборудования, строительной техники, дорожных одежд, наблюдается тенденция к постепенному отходу от традиционных методов

в сторону всё большей автоматизации строительных процессов. В том числе широкое распространение начинают получать системы автоматизированного управления строительной техникой: бульдозерами, автогрейдерами, асфальтоукладчиками и т.д. По уверениям производителей, такие системы достаточно просты в эксплуатации и при этом позволяют существенно снизить финансовые и временные затраты на строительство дорог. Рассмотрим более подробно, какими бывают эти системы и каковы принципы их работы.

Обзор существующих технологий

Основная идея автоматизированных систем управления строительной техникой заключается в том, что они позволяют контролировать положение рабочего органа строительной машины и управлять им при минимальном участии оператора. По принципу работы все современные системы автоматизированного управления строительной техникой можно разделить на два типа: двумерные и трёхмерные.

2D-системы требуют закрепления на местности проектных направлений и плоскостей. При этом управление положением рабочего органа

машины выполняется автоматически по заданным значениям высоты и поперечного уклона. Для привязки системы на местности используется копирная струна, лазерная или ультразвуковая «лыжа». После установки машины на участке работ в её бортовой компьютер вводятся необходимые параметры (значения выемки/насыпи и уклона), а затем в автоматическом режиме система устанавливает рабочий орган в нужную отметку. После начала движения машины рабочий орган автоматически удерживается согласно заданным параметрам, копируя заданную поверхность с определённым постоянным смещением по высоте относительно струны, плоскости лазерного луча и т.д. При этом контроль правильности проведения работ осуществляется самим машинистом непосредственно из кабины с помощью графического дисплея (рис. 1).

3D-системы обеспечивают более высокий уровень автоматизации процесса строительства. В основе работы таких систем лежит использование цифровой трёхмерной модели запроектованной дороги. 3D-модель, как правило, представляет собой совокупность файлов поверхностей в DXF-формате. Файл поверхности загружается в бортовой компьютер, установленный в кабине машины, а затем инженер при помощи вспомогательных приборов осуществляет привязку фактического положения машины к цифровой модели по координатам X, Y и Z (рис. 2). В ходе работы система позиционирования (роботизированный тахеометр или GPS-приёмник) отслеживает положение рабочего ор-

гана машины, бортовой компьютер анализирует эти данные и автоматически устанавливает рабочий орган в проектное положение, после чего машинисту достаточно просто двигаться вперёд — система сама знает, в какой момент поднять, опустить или повернуть рабочий орган, чтобы сформировать необходимую поверхность.

Точность воссоздания проекта на местности зависит от технологии позиционирования, которая применяется для отслеживания положения рабочего органа. По принципу позиционирования современные трёхмерные системы управления строительной техникой можно разделить на две группы:

■ **LPS (локальные системы позиционирования)** — определение местоположения производится с помощью роботизированного тахеометра, который устанавливается в удобном месте и привязывается по двум–трём опорным точкам к местной строительной системе координат (рис. 3). После включения системы тахеометр автоматически находит активный отражатель, установленный на рабочем органе машины, и постоянно отслеживает его перемещение, передавая информацию на контроллер, который сравнивает информацию с проектной и при необходимости корректирует работу машины. Как правило, точность формирования полотна у таких систем составляет около 1 см.

■ **ГНСС (глобальные системы позиционирования)** — системы отслеживания спутниковыми приёмниками GPS/ГЛОНАСС (рис. 4). В основном они используются при выполнении работ,

требующих меньшей точности (около 2–3 см). Определение положения рабочего органа машины в таких системах выполняется с использованием технологии RTK (Real Time Kinematic, т.е. «кинематика в реальном времени»), которая позволяет получать точные результаты прямо в движении. Для работы требуются минимум два GPS/ГЛОНАСС-приёмника: один из них называется базовой станцией и устанавливается на точке с известными координатами, а второй устанавливается на машине и одновременно с базовой станцией принимает сигналы с GPS/ГЛОНАСС-спутников. Базовая станция передаёт по радиомодему свои координаты и другую информацию со спутников на приёмник, установленный на машине, а приёмник объединяет данные базовой GPS/ГЛОНАСС-станции с собственными данными и вычисляет свои точные координаты. Одна базовая станция при этом может обслуживать несколько машин.

Выбор способа позиционирования 3D-системы всегда индивидуален и зависит от условий на конкретном строительном объекте, вида работ и прочих факторов. К примеру, роботизированные тахеометры обеспечивают более высокую точность, однако имеют при этом ряд ограничений: необходимо обеспечить непрерывную прямую видимость с машиной, для работы каждой машины требуется отдельный тахеометр, в тёмное время суток возможны сбои в работе тахеометра из-за яркого света фар движущихся навстречу машин и т.п. ГНСС-системы имеют меньше ограничений, но, в свою очередь, неэффективны



Рис. 1. Экран бортового компьютера 2D-системы управления экскаватором Торсон



Рис. 2. Экран бортового компьютера трёхмерной системы управления грейдером Leica PowerGrade 3D



Рис. 3. Бульдозер с 3D-системой Trimble GCS900 на базе роботизированного тахеометра



Рис. 4 Грейдер с 3D-системой Topcon на базе ГНСС-систем

Выбор способа позиционирования 3D-системы всегда индивидуален и зависит от условий на конкретном строительном объекте, вида работ и прочих факторов.

в местах, где спутниковый сигнал отсутствует или является слишком слабым: в тоннелях, вблизи высоких зданий или леса и т.д.

Получение трёхмерной модели дороги

Рассмотрим более подробно, какие данные необходимы для работы трёхмерных систем управления строительной техникой. Исходными данными служат 3D-модели поверхностей, как правило, в DXF-формате. При этом каждый слой дорожной одежды должен быть представлен отдельной поверхностью.

Очевидно, что от качества моделей напрямую зависит эффективность применения 3D-систем, поэтому их подготовка становится одной из первоочередных задач. Однако при традиционном подходе строители получают исходные данные в виде чертежей плана, продольного и поперечных профилей, ведомостей, спецификаций и пр. Восстановление трёхмерных моделей поверхности по этим данным представляется весьма сложным и требует много времени и сил, особенно если учесть, что сформировать модель нужно по каждому слою дорожной одежды. Кроме того, полученная в итоге модель поверхности может содержать ошибки, так как при ручном формировании модели неизбежен «человеческий фактор» и связанные с ним ошибки. В такой ситуации применение современных технологий становится нецелесообразным: ни экономии времени на подготовительных работах, ни желаемой точности выноса проекта на местность добиться уже не удастся.

С другой стороны, если проект изначально создаётся в современной САПР автомобильных дорог, необходимая трёхмерная модель уже имеется у проектировщика — ведь современный подход к проектированию подразумевает работу

именно с моделью дороги. А уже на основании этой модели формируется различная проектная документация: чертежи, ведомости и спецификации, которые затем передаются заказчику [2]. Таким образом, вовсе не требуется выполнять двойную работу, воссоздавая модель заново, если её — без искажений и потери времени — можно получить непосредственно от проектировщиков.

Для создания трёхмерных моделей может быть использована практически любая современная САПР, предназначенная для проектирования автомобильных дорог: IndorCAD [3] («ИндорСофт», г. Томск), программный комплекс Credo («Кредо-Диалог», Беларусь), Топоматик Robur («Топоматик», г. Санкт-Петербург), AutoCAD Civil 3D (Autodesk, США) и пр. В этих системах инженер в привычных ему проекциях (план, профили) (рис. 5) формирует модель автомобильной дороги (рис. 6), которая затем легко может быть экспортирована в DXF-файл и без какой-либо доработки загружена в бортовой компьютер 3D-системы.

Готовые решения для строительной техники

Выбор предлагаемых на отечественном рынке решений для автоматизированного управления дорожно-строительной техникой весьма широк — практически каждая крупная компания, производящая геодезическое оборудование, имеет собственные разработки в этой области. Наибольшее распространение сейчас, как в России, так и за рубежом, получают 3D-системы от таких мировых лидеров, как Leica Geosystems, Швейцария [4] (например, линейка оборудования Leica iCON, 3D-системы для управления грейдерами PowerGrade 3D и пр.), Topcon, Япония [5] (системы 3D LPS и 3D ГНСС, высокоточная технология mmGPS 3D), Trimble Navigation, США [6]

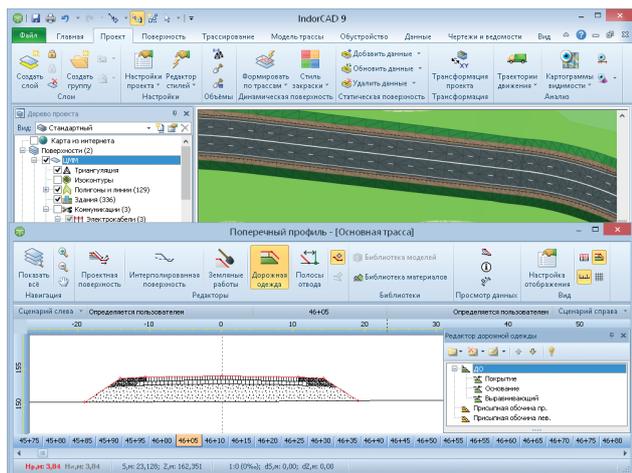


Рис. 5. Проектирование автомобильной дороги в САПР IndorCAD 9



Рис. 6. Трёхмерная модель дороги в САПР IndorCAD 9

(универсальная система управления GCS900 для грейдеров, бульдозеров, экскаваторов и асфальтоукладчиков). По характеристикам все эти системы схожи, причём почти все они универсальны и могут быть расширены от простых 2D- до более совершенных 3D-систем путём установки дополнительного оборудования. Кроме того, большинство производителей предлагает также собственное программное обеспечение, позволяющее при необходимости вносить изменения в модель поверхности уже после начала строительства.

По заявлениям производителей, использование трёхмерных систем управления строительной техникой обеспечивает следующие преимущества и дополнительные возможности:

- Уменьшается объём геодезических разбивочных работ. Это не означает, что работы по выносу проекта в натуру можно исключить совсем, однако их продолжительность может быть существенно сокращена.

- Пропадает необходимость проведения контроля полученных высотных отметок после каждого прохода строительной техники. Исполнительная съёмка выполняется самой системой параллельно с проведением работ и не требует участия геодезиста. Однако контроль геодезистами высотных отметок, уклонов и толщины дорожной одежды всё равно необходим для подписания актов при приёмке всех видов геодезических, земляных и прочих работ.

- Благодаря уменьшению объёма разбивочных работ и мероприятий

по контролю качества сокращаются простои строительной техники.

- Высокая точность выполнения работ обеспечивает ровное покрытие с заданными параметрами.

- Благодаря обеспечению постоянной ровности слоёв дорожной одежды исключается перерасход материала на выравнивание слоёв.

- Машинист ориентируется на строительной площадке «по приборам», поэтому проведение работ возможно не только днём, но и ночью.

- Обеспечивается комплексное выполнение проекта, включая переходные кривые, вертикальные кривые, виражи и пр.

Сложности при внедрении и эксплуатации 3D-систем

Освоение трёхмерных систем автоматизированного управления строительной техникой в нашей стране ещё только начинается, поэтому инженеры довольно часто сталкиваются с различными сложностями.

Например, общей проблемой при внедрении 3D-систем является необходимость предварительного обучения специалистов работе с новыми технологиями. Хотя такие системы являются достаточно простыми в эксплуатации и имеют интуитивно понятный интерфейс, от пользователя всё же потребуется желание и время для их изучения: необходимо понять, как работают и взаимодействуют между собой все компоненты системы в комплексе. В помощь инженерам, осваивающим работу с 3D-системами, производители и дистрибьюторы обо-

рудования, как правило, предлагают различные обучающие курсы.

Ещё одной проблемой может стать подготовка входных данных — 3D-моделей поверхностей в DXF-формате. Справиться с этой проблемой позволяют современные САПР автомобильных дорог, в которых проектировщики в процессе работы формируют трёхмерную модель дороги и могут затем легко передать её заказчику в необходимом формате, а не только в виде «бумажных» чертежей, ведомостей и пр.

Сложность использования систем на базе ГНСС-технологий состоит в том, что для непрерывной работы техники с требуемой точностью нужно обеспечить хорошее качество и непрерывность спутникового сигнала. При этом использование приёмников, работающих только со спутниками GPS или только ГЛОНАСС, зачастую не может этого гарантировать. Однако сейчас многие производители (например, Leica, Trimble и пр.) предлагают системы на базе GPS/ГЛОНАСС, которые могут осуществлять высокоточное позиционирование в любом регионе страны.

В свою очередь, локальные системы позиционирования на базе тахеометра тоже имеют свои слабые стороны. Основным требованием к работе этих систем является обеспечение постоянной прямой видимости от машины до тахеометра, а также снижение точности позиционирования рабочего органа машины по мере её удаления от тахеометра. При работе на участке только одной машины сложностей



Рис. 7. Реконструкция автомобильной дороги федерального значения М7 «Волга»

с обеспечением видимости, как правило, возникает гораздо меньше — нужно только периодически перемещать тахеометр, чтобы расстояние от него до контролируемой машины не превышало допустимое. Однако, если строительство ведётся с использованием нескольких машин, следующих друг за другом по разным полосам, их тахеометры приходится переносить и привязывать к местной строительной системе координат намного чаще, чтобы постоянно обеспечивать необходимую видимость и расстояние до машин. Естественно, на это тоже тратится достаточное количество времени (в течение которого техника простаивает), поэтому иногда получается, что работы в целом проходят медленнее, чем при традиционном подходе с использованием струны. В таких случаях, чтобы уложиться в поставленные сроки, строителям иногда бывает проще сделать всё «по старинке», по отлаженным и хорошо знакомым технологиям.

Опыт внедрения

Опыт показывает, что несмотря на некоторые сложности, связанные с внедрением и эксплуатацией трёхмерных систем управления строительной техникой, их использование в большинстве случаев несёт значительную выгоду. Инженеры-дорожники, уже попробовавшие такие системы на практике, в целом дают им положительную оценку, отмечая повышение точности строительства и заметное ускорение работ. Особенно эффективность этих систем видна при

использовании их на автогрейдерах. Преимущества заметны не только строителям — заказчики зачастую также сами настаивают на максимальном использовании новых технологий.

На сегодняшний день с применением 3D-систем было построено и реконструировано немалое количество дорог. Такие системы уже несколько лет широко применяются при строительстве, ремонте и реконструкции автомобильных дорог федерального значения: М4 «Дон» [7], М7 «Волга» [8] (рис. 7), М60 «Уссури» [9] и пр. Технология охватывает все виды строительной техники: грейдеры, бульдозеры, дорожные фрезы, асфальто- и бетоноукладчики. По оценкам строителей, использование 3D-систем в сочетании с другими новейшими разработками в области дорожного строительства позволило значительно ускорить темпы работ, зачастую даже сделав возможной сдачу объекта в эксплуатацию раньше назначенного срока [10], а также добиться высокой ровности дорожного покрытия.

Заключение

Несмотря на то что использование трёхмерных систем управления строительной техникой обещает заметную выгоду, следует помнить, что для эффективного использования новых технологий недостаточно просто купить дорогостоящее оборудование. Необходимо обучение сотрудников и индивидуальный подход к выбору системы в каждом конкретном случае. А кроме того, со стороны заказчика требуется понимание необходимости

предоставления строителям не только чертежей, ведомостей и прочей «бумажной» документации, но и непосредственно 3D-модели проектируемой дороги. А для этого, в свою очередь, нужно, чтобы проектирование изначально велось в «правильной» САПР автомобильных дорог. **□**

Литература:

1. СНиП 3.06.03–85 Автомобильные дороги. М.: Госстрой СССР, 1989.
2. СНиП 3.01.03–84 Геодезические работы в строительстве. М.: Государственный комитет СССР по делам строительства, 1985.
3. Петренко Д.А. Новое поколение программных продуктов ИндорСофт // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2013. №1(1). С. 10–17.
4. Machine Control. Application Overview // Leica geosystems official website. URL: http://www.leica-geosystems.com/en/Machine-Control_4677.htm (дата обращения 28.08.2014).
5. Topcon Machine Control. 3D systems // Topcon official website. URL: <http://www.topconpositioning.com/products/machine-control/3d> (дата обращения 28.08.2014).
6. Trimble Heavy Civil Construction. Machine Control // Trimble official website. URL: <http://construction.trimble.com/products/machine-control> (дата обращения 28.08.2014).
7. Два участка автомобильной дороги М-4 «Дон» в Краснодарском крае открыты после реконструкции // Государственная компания «Росавтодор». Пресс-центр. URL: <http://www.russianhighways.ru/press/news/8893> (дата обращения 28.08.2014).
8. В ходе реконструкции и ремонта автодороги М-7 «Волга» активно применяется автоматическая система нивелирования формата 3D // Федеральное дорожное агентство Министерства транспорта Российской Федерации. URL: <http://rosavtdor.ru/activity/157/165/13519.html> (дата обращения 28.08.2014).
9. Гучков А. Дальневосточные магистрали в 3D-проекции // Направление — Дальний Восток. 2011. №9(27).
10. Дороги России: федеральная трасса Уссури // Вести.Ru. URL: <http://www.vesti.ru/videos?vid=612667> (дата обращения 28.08.2014).