

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ INDORCAD/ROAD

Описывается система автоматизированного проектирования автомобильных дорог IndorCAD/Road, история ее создания, функциональные возможности, примеры практического применения для проектирования автомобильных дорог в разных природно-климатических условиях

Система автоматизированного проектирования автомобильных дорог IndorCAD/Road развивается с 1991 г. До 2003 г. система разрабатывалась в Инженерном дорожном центре «Индор» (Томск) и называлась ReCAD (по аббревиатуре слов РеКонструкция Автомобильных Дорог). На начальном этапе развития система ReCAD представляла собой исследовательскую систему, на которой отрабатывались новые подходы и алгоритмы автоматизированного проектирования автомобильных дорог. До 2001 г. система ограничено применялась в производственной практике в ряде дорожных проектных организаций Западной Сибири.

В 2001 г. была завершена разработка системы ReCAD 3-го поколения под управлением ОС Windows, которая была анонсирована и сертифицирована как программный продукт для массового применения. С этого времени система ReCAD широко применяется в производственной практике в России и странах СНГ.

В марте 2003 г. система ReCAD была передана для дальнейшего развития в специализированную фирму по разработке программного обеспечения ООО «ИндорСофт. Инженерные сети и дороги», которая наряду с системами автоматизированного проектирования разрабатывает также геоинформационные системы и прикладные информационные комплексы на их основе. С этого времени система ReCAD была переименована в систему IndorCAD/Road.

Теоретические основы и практические методы, а также расчетные схемы и алгоритмы для системы IndorCAD/Road были разработаны д.т.н. Г.А. Федотовым (Московский автодорожный институт (технический университет)), д.т.н. В.Н. Бойковым (ООО ИДЦ «Индор», Томск), д.т.н. А.В. Скворцовым (Томский государственный университет), д.ф.-м.н. Б.М. Шумиловым (ТГАСУ), к.т.н. С.П. Крысиным (ООО ИДЦ «Индор», Томск), инженерами С.Р. Люстом (ИДЦ «Индор», Томск), Д.А. Петренко (ООО «ИндорСофт», Томск), М.О. Ивановым (ООО «ИндорСофт», Томск), А.В. Перфильевым (ООО «ИндорСофт», Томск), Р.О. Куленовым (ООО «ИндорСофт», Томск), С.А. Субботиным (ООО «ИндорСофт», Томск) и др.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ СИСТЕМЫ

Система IndorCAD/Road позволяет проектировать автомобильные дороги всех категорий на стадии их строительства, реконструкции и ремонта. В основу идеологии системы положены, в первую очередь, расчетные схемы для реконструкции дорог. Новое строительство здесь понимается как частный случай реконструкции, то есть в отсутствие фактора учета элементов существующей дороги.

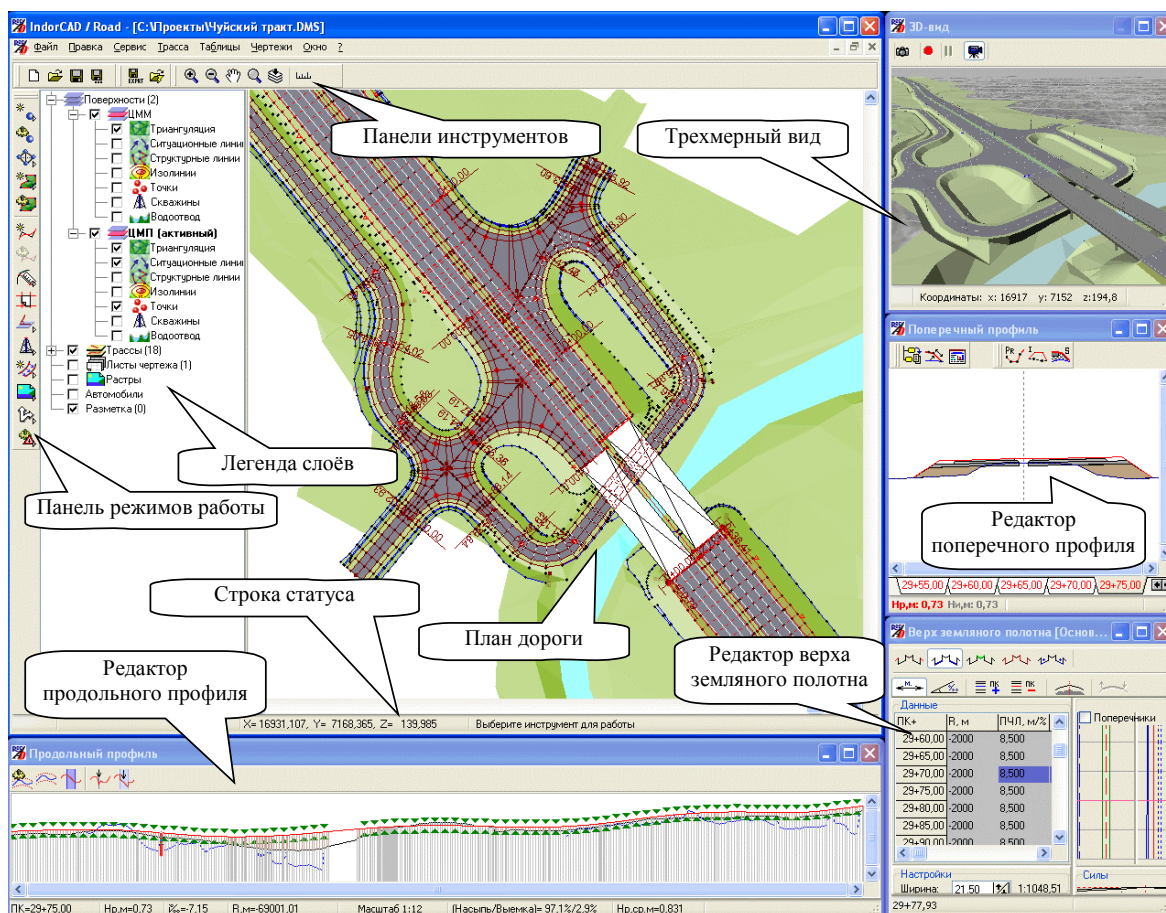


Рис. 1. Внешний вид системы автоматизированного проектирования автомобильных дорог IndorCAD/Road

В системе реализован принцип единой модели дороги, то есть любые изменения в одной из проекций дороги (план, продольный и поперечный профили) приведут к немедленным изменениям в других проекциях (внешний вид системы вместе с основными включенными окнами представлен на рис. 1). Такой подход позволяет получать непротиворечивые проектные решения, дает возможность одновременно корректировать поперечный и продольный профили.

Инструментальные средства системы предоставляют возможность:

- обрабатывать геодезическую информацию, полученную разными методами: нивелирование, тахеометрическая съемка, GPS-съемка;

- на основе обработанных данных формировать цифровые модели местности (ЦММ), редактировать их, отображать в различных представлениях (изолинии, твердотельная модель, уклоны и т.д.) для визуального анализа;

- трассировать автомобильные дороги в плане и продольном профиле как с применением традиционных геометрических элементов (дуги окружности и клоатоиды), так и современных инструментов вычислительной математики (кривые Безье 3-го и 5-го порядков, а также интерполяционные сплайны) [1];

- объединять несколько проектов в один, что позволяет легко разбить сложный проект на несколько более мелких, обработать их, затем произвести склейку проектов в один;

- осуществлять параллельный перенос трассы, изменять азимут ее начального направления;

- проектировать верх земляного полотна (виражи), в том числе и с учетом сплайновой природы трасс;

- конструировать дорожную одежду и поперечные профили как типовые, так и индивидуальные;

- отображать 3D-вид как существующей поверхности, так и проектируемой;

- одновременно отображать на экране все проекции проектируемого объекта;

- формировать чертежи, ведомости и таблицы для последующего их редактирования соответственно в IndorDraw [2] и Microsoft Excel;

- богатый ActiveX-интерфейс позволяет создавать собственные модули расширения и надстройки системы для выполнения частных задач.

Система IndorCAD/Road состоит из пяти основных разделов: плана, продольного профиля, верха земляного полотна, поперечного профиля, 3D-вида.

ПЛАН

В основе любого проектного решения лежит цифровая модель местности (ЦММ). В качестве ЦММ в системе проектирования IndorCAD/Road используется триангуляционная модель местности, построенная с помощью триангуляции Делоне с ограничениями и флипами [3]. Особенностью системы является то, что во внешних файлах никогда не хранится сама структура триангуляции и вычисленные изолинии, зоны подтопления и т.д. В системе хранятся только исходные данные для построения триангуляции. Сама структура триангуляции и все вторичные построения выполняются только по требованию, например, при поступлении команды отображения на экране.

В дополнение к классическим видам исходных данных (включая точки, структурные линии, регионы, переброски ребер) для триангуляции хранится множество линий, определяющих цветовую раскраску треугольников при отображении на экране. После построения триангуляции система автоматически проверяет, какие треугольники пересекает каждая линия раскраски и соответственно назначаются цвета треугольникам (рис. 2).

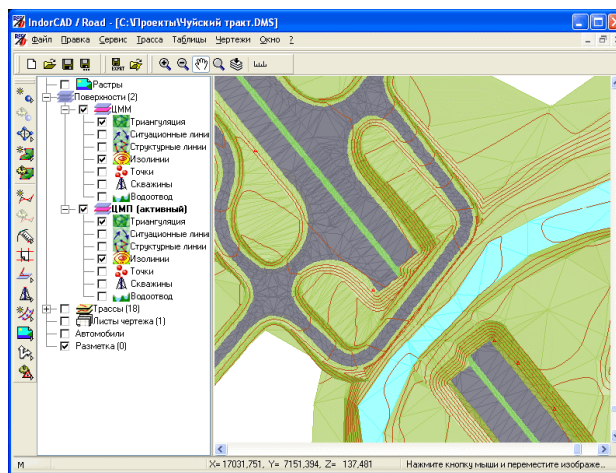


Рис. 2. Плановое представление автомобильной дороги

Ввод исходных данных для построения ЦММ может выполняться вручную, либо на основе данных, полученных в ходе геодезических изысканий. Для этого в системе предусмотрена возможность импорта файла снятых точек реальной местности, а также встроены функции для обработки результатов тахеометрической и нивелировочной съёмки. Кроме того, ввод исходных данных может быть выполнен по rasterной подложке (сканированные карты, чертежи, аэрофотографии), подложенной под ЦММ.

Помимо представления ЦММ в виде плана в системе предоставляется возможность построения профилей дороги вдоль произвольно заданных линий.

В процессе проектирования следующим шагом после построения ЦММ является создание проектной поверхности – цифровой модели проекта (ЦМП), которая также является триангуляционной моделью. Таких ЦМП может быть построено несколько в соответствии с требуемых количеством вариантов проектных решений. Все эти модели (ЦММ и ЦМП) могут одновременно или поочередно отображаться на экране, что позволяет визуально анализировать полученные решения. В дополнение к этому в системе предусмотрена возможность построения разности двух заданных поверхностей с целью определения, какая поверхность и где находится выше, и для оценки требуемых объемов земляных работ.

После выработки требуемого решения (завершения построения ЦМП) полученный проект может быть оформлен в соответствии с существующими требованиями оформления топографических планов и проектов автомобильных дорог. Для этого в системе предусмотрено достаточно большое число вспомогательных оформительских инструментов для работы с точками, линиями, полигонами, трассами и т.п. Для оформления этих объектов применяется технология ex-fonts отображения условных знаков, разработанная С.А. Субботиными [4].

В процессе проектирования после построения ЦММ следующим шагом идёт трассировка трассы дороги – построение в плане кривой, описывающей траекторию дороги и удовлетворяющей определенным ограничениям по допустимым радиусам поворотов. После этого выполняется разбивка трассы (дискретизация отметок трассы через 10–50 м) и работа с проектом переходит в окно продольного профиля, в котором производится корректировка вертикальных отметок трассы.

ПРОДОЛЬНЫЙ ПРОФИЛЬ

В окне продольного профиля (рис. 3) представлена совокупность дискретных точек проектной линии, которые требуется привести в соответствие с требованиями на максимальные допустимые уклоны и минимальные вертикальные радиусы изгибов трассы. Это достигается посредством перемещения соответствующих вертикальных отметок трассы.

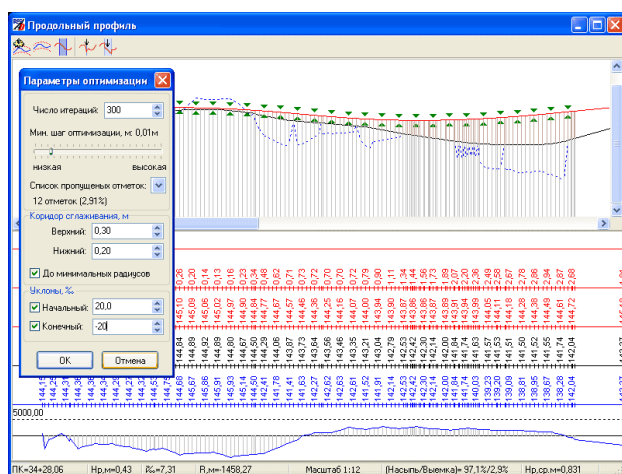


Рис. 3. Продольный профиль автомобильной дороги

Для работы с профилем в системе IndorCAD/Road может быть использовано два способа проектирования: классический и сплайновый. На основе различных ограничений, накладываемых на точки проектной линии (задание ограничений на допустимые вертикальные перемещения точек), система позволяет выполнить автоматический поиск наиболее подходящего решения. Следует отметить, что система IndorCAD/Road является единственной в России системой, которая обеспечивает сплайн-сглаживание с последующим ручным редактированием проектной линии.

Для удобства работы в продольном профиле автоматически строятся графики рабочих, проектных и интерполированных отметок земли, графика кривизны, уклонов и др.

Одним из наиболее важных факторов, влияющих на выбор проектных решений, является состояние грунтов в месте планируемого строительства дороги. На практике для учета грунтов выполняется бурение скважин вдоль дороги, на основании чего строятся графики залегания грунтов. Для учета такого вида информации в системе IndorCAD/Road встроены специальные средства для ввода информации по геологическим колонкам и построения графиков залегания грунтов. Для построения графиков может быть использованы несколько различных методов интерполяции, включая линейный, метод

инверсных расстояний, методы геостатистики (метод кригинга и др.). Рассчитанные графики отображаются на графике продольного профиля дороги.

Следует отметить, что в практике проектирования автомобильных дорог в настоящее время используются только линейные методы интерполяции. Это связано с тем, что бурение геологических скважин выполняется обычно достаточно близко к осевой линии дороги. В то же время в ряде случаев это условие не выполняется. В таком случае наиболее приемлемыми бывают более сложные методы геостатистики, используемые в геофизике для составления прогнозных карт полезных ископаемых. В системе IndorCAD/Road выбор используемого метода интерполяции остается за пользователем.

После выполнения проектирования продольного профиля имеется возможность автоматического формирования чертежа продольного профиля различной степени детализации как для реконструкции, так и для нового проектирования.

ВЕРХ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

После проектирования плана трассы и продольного профиля выполняется проектирование верха земляного полотна. В окне верха земляного полотна системы IndorCAD/Road можно выполнять:

- формирование проезжих частей и обочин, разделительных полос, бордюров с применением как линейного, так и синусоидального интерполирования;
- моделирование отгонов виражей, виражей, уширений проезжей части на кривых, формирование автобусных карманов и переходно-скоростных полос;
- анализ соответствия виража расчетной скорости автомобиля при заданном коэффициенте поперечной силы;
- локальную псевдо-3D визуализацию формируемого полотна.

ПОПЕРЕЧНЫЙ ПРОФИЛЬ

На следующем этапе выполняется проектирование поперечного профиля дороги (рис. 4).

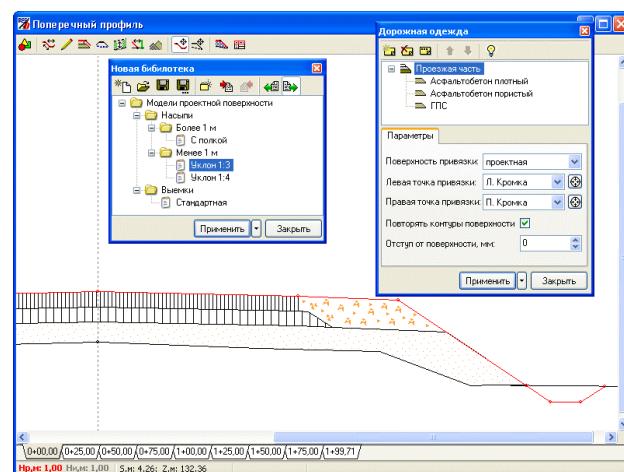


Рис. 4. Поперечный профиль автомобильной дороги

Для этого вначале формируется конструкция поперечного профиля и дорожной одежды. Для этого может быть использована библиотека типовых поперечников и конструкций дорожной одежды, либо выполнено ручное проектирование. По выбору проекти-

ровщика проектная линия профиля может быть автоматически доведена до пересечения с реальной или интерполированной землей.

Сформированный профиль на конкретном участке может быть запомнен в библиотеке профилей, либо применен на любые другие участки трассы.

По результатам проектирования может быть выполнен расчет объемов дорожной одежды, площадей откосов, а результаты выданы в виде таблиц Microsoft Excel. Кроме того, можно получить чертежей поперечных профилей в заданном масштабе по одному или несколько поперечников на лист в виде чертежей системы подготовки чертежей IndorDrawing.

ТРЕХМЕРНЫЙ ВИД

Одной из важных задач, выполняемых при проектировании автомобильных дорог, является визуальная оценка проектного решения. При этом оцениваются такие параметры решения, как достаточная пространственная видимость трассы, видимость на поворотах и примыканиях, правильность расстановки и видимость дорожных знаков, отсутствие частых изгибов трассы в плане и по вертикали, отсутствие чрезмерно длинных прямых перегонов и пр.

В системе IndorCAD/Road для визуальной оценки решений разработан модуль трехмерной визуализации, позволяющий достаточно реалистично представлять дорогу вместе с инженерным обустройством дороги и другими объектами вокруг дороги (рис. 5).

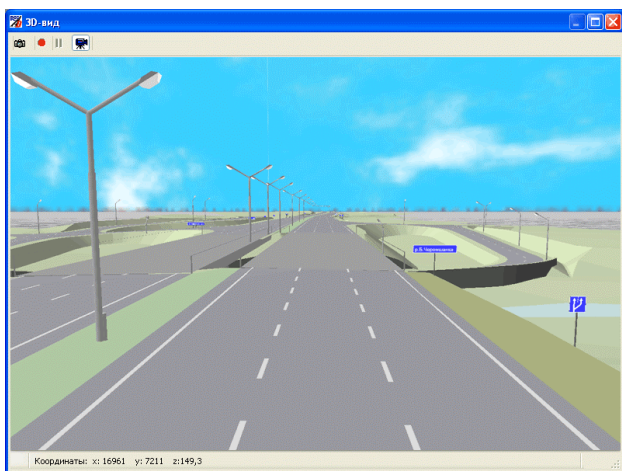


Рис. 5. Трехмерный вид автомобильной дороги

В число стандартных трехмерных элементов входят деревья, опоры ЛЭП, уличные фонари, светофоры и др. Элементы, представленные в виде полигональных объектов на карте, могут быть преобразованы в соответствующей этажности здания, водоёмы и пр. Объекты, линейные в плане, могут быть представлены в трехмерном виде в виде мостов, ограждений, шумозащитных экранов и пр.

Отличительной особенностью системы является то, что любые изменения, выполняемые в плане, продольном или поперечном профиле дороги, сразу же видны в окне трехмерного вида.

Для визуальной оценки проектных решений пользователю предоставляется возможность интерактивного перемещения по свободной траектории в пространстве, в том числе предоставляется функция «проезда» по автомобильной дороге, когда отображается вид на дорогу с точки зрения водителя.

Результаты пролета над дорогой или проезда по ней могут быть записаны в видеофайл AVI для последующей демонстрации без системы IndorCAD/Road. Такой приём с демонстрацией видеофильма может быть очень полезен, например, при защите выполненных проектов у заказчика.

Другой важной функцией окна трехмерного вида является возможность быстрой визуальной оценки соотношения существующей ранее, проектной и построенной поверхностей. Так можно легко увидеть результаты «врезки» проектной поверхности в существующую.

Еще одной функцией окна трехмерного вида является возможность моделирования потока автомобилей в движении с учетом заданной для каждой трассы интенсивности и возможных направлений движения. Это позволяет визуально оценить возможные места заторов и принять необходимые меры по их устранению.

ОПЫТ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

В 1996 г. система ReCAD (IndorCAD/Road) апробировалась в Непале для проектирования автомобильных дорог в горных условиях. Специфика проектирования дорог в горах связана с тем, что приходится часто применять повороты дорог в виде так называемых «серпантин». Проектирование «серпантин» удобнее выполнять с применением сплайнов и кривых Безье [2], которые были широко представлены в рассматриваемой системе. Опыт проектирования горных дорог в Непале показал высокую гибкость и универсальность алгоритмов системы IndorCAD/Road.

В 1996 – 1999 гг. были выполнены пилотные проекты дорог для Томской области, в которых впервые в российской практике план и продольный профиль описывались с помощью сплайн-функций. В настоящее время эти проекты реализованы и автомобильные дороги функционируют.

В 2001 – 2003 гг. с помощью системы IndorCAD/Road было выполнено проектирование участков Чуйского тракта в Алтайском крае по параметрам четырехполосной автомагистрали 1-й категории.

В 2004 г. планируется широкая апробация системы для проектирования дорог в горных и степных условиях Казахстана и с учетом специфики их нормативной базы проектирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бойков В.Н., Шумилов Б. М. Сплайны в трассировании автомобильных дорог. Томск: ЦНТИ, 2001. 164 с.
2. Скворцов А.В., Иванов М.О., Петренко Д.А. Система подготовки чертежей IndorDrawing // Вестник ТГУ. 2003. № 280. С. 354–357.
3. Скворцов А.В. Триангуляция Делоне и ее применение. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002. 127 с.
4. Скворцов А.В., Субботин С.А. Универсальная технология отображения условных знаков // ИНПРИМ-98 (Матер. Междунар. конф.). Ч. V. Новосибирск, 1998. С. 66.

Статья представлена кафедрой теоретических основ информатики факультета информатики Томского государственного университета, поступила в научную редакцию 15 мая 2003 г.