

Проектирование транспортных развязок в IndorCAD

Кривых И.В., руководитель методического отдела ООО «ИндорСофт» (г. Томск),
Мирза Н.С., к.т.н., ведущий разработчик ООО «ИндорСофт» (г. Томск)

Рассматривается комплексный подход к проектированию транспортных развязок в рамках САПР автомобильных дорог IndorCAD. Описывается весь цикл проектирования развязок, включая построение поворотных съездов, контроль обеспечения водоотвода, инженерное обустройство, оценку видимости и контроль коридоров движения крупногабаритных и длинномерных транспортных средств.

В настоящее время в связи с непрерывным ростом интенсивности и скорости движения на автомобильных дорогах большое внимание уделяется обеспечению безопасности дорожного движения. Особого внимания заслуживает повышение безопасности движения и увеличение пропускной способности пересекающихся дорог. В последние годы в нашей стране наблюдается увеличение темпов строительства транспортных развязок как на загородных дорогах, так и в крупных населённых пунктах с целью обеспечения скоростного автомобильного движения и гарантии наибольшей его безопасности.

Эффективное и качественное проектирование транспортной развязки с соблюдением сроков представляется интерактивным процессом с возможностью предварительного просмотра всех промежуточных результатов и изменения параметров построения «на лету».

При проектировании транспортной развязки инженер решает сложнейшую задачу с учётом множества факторов и соблюдением целого ряда ограничений. Изменение хотя бы одного базового параметра влечёт за собой изменение практически всех остальных критериев и ограничений, что в итоге приводит к серьёзным изменениям в проекте. На данный момент проектирование пересечений и примыканий дорог в разных уровнях выполняется в соответствии с двумя основными нормативными документами: СП 34.13330.2012 «Актуализированная редакция СНиП 2.05.02–85*» и ВСН 103–74 «Технические указания по проектированию пересечений и примыканий автомобильных дорог» [1].

Первостепенный вопрос при проектировании транспортной развязки — это выбор расчётной скорости. От принятой расчётной скорости зависят почти все геометрические элементы транспортной развязки, её строительная стоимость, дорожно-эксплуатационные и транспортные расходы. При изменении расчётной скорости меняются радиусы кривых в плане на съездах, расчётные расстояния видимости и другие параметры [2]. В редких случаях, когда условия не позволяют разместить кривые требуемых радиусов, приходится менять базовые ограничения на расчётную скорость и продольные уклоны. Кроме того, необходимо решить вопрос обеспечения видимости на развязке, организации стока дождевых и талых вод не только с поверхности проезжей части съездов, но и из замкнутых контуров, образуемых съездами, а также множество других вопросов.

Эффективное и качественное проектирование транспортной развязки с соблюдением сроков представляется интерактивным процессом с возможностью предварительного просмотра всех промежуточных результатов и изменения параметров построения «на лету». Организовать такой процесс невозможно без помощи современного программного обеспечения, которое выполнит всю рутинную работу, позволит менять ограничения и отслеживать их соблюдение, задавать параметры съездов и других элементов развязки, оценивать полученный результат, а также создавать несколько вариантов развязки для поиска оптимального решения. Такой подход является наиболее перспективным развитием САПР автомобильных дорог [3].

Одной из систем автоматизированного проектирования, в которой реализован комплексный подход к проектированию транспортных развязок, является система IndorCAD, разработан-

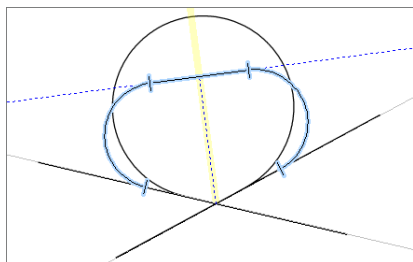


Рис. 1. Схема съезда с двумя кривыми в плане

ная компанией «ИндорСофт». Модуль для проектирования транспортных развязок появился в рамках девятого поколения программных продуктов «ИндорСофт» [4].

Мастер проектирования развязок — в помощь проектировщику

Проектирование транспортной развязки предполагает выполнение ряда действий, представленных инженеру в виде пошагового мастера. На начальном шаге работы мастера задаются базовые параметры и ограничения, необходимые для осуществления построений: основные трассы, минимальные продольные уклоны на съездах, расчётные скорости. На следующих шагах определяются другие параметры развязки: схемы построений, радиусы кривых в плане на съездах и пр.

Возможности мастера позволяют последовательно задавать основные параметры развязки, возвращаясь при необходимости на предыдущие шаги для корректирования ранее введенных значений, предварительно оценивать все построения на плане, завершать построение на любом шаге, чтобы затем либо продолжить создание развязки с нужного шага, либо изменить существующее решение.

Построение левоповоротных съездов

Основой для построения съездов служат две главные трассы с запроектированными продольными профилями и верхом проектной поверхности. Для каждой четверти развязки задаются параметры построения левоповоротного съезда. Плановая геометрия съезда может быть запроектирована с использованием одной кривой, либо с использованием двух кривых. В некоторых случаях (например, при тупых углах) вариант

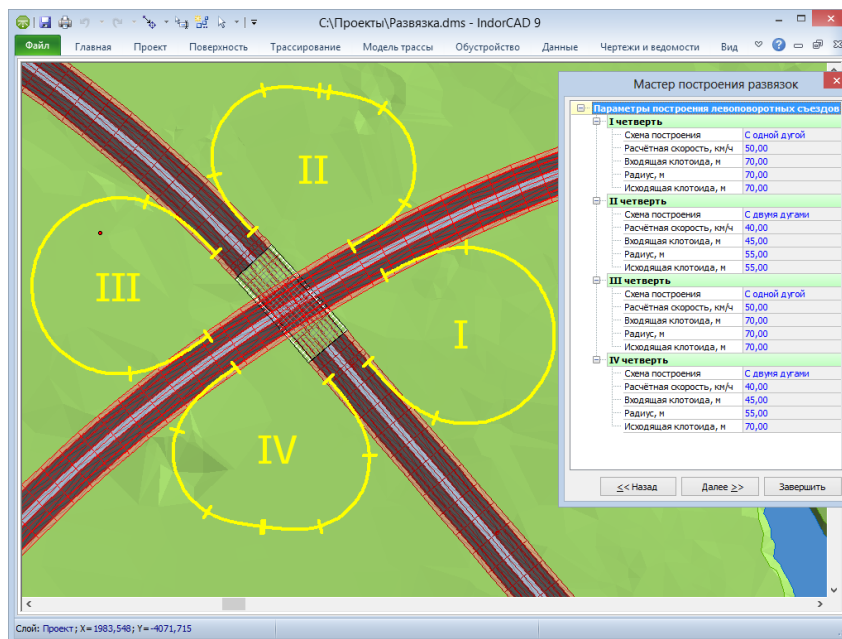


Рис. 2. Построение левоповоротных съездов

с двумя кривыми может дать значительную экономию в отводе земли (рис. 1), что приобретает особое значение вблизи крупных населённых пунктов и в городской зоне, где отвод земли часто связан с большими затруднениями.

Для каждого съезда инженер задаёт радиус кривой в плане. При этом на проекте сразу можно видеть и анализировать формируемые оси съездов (рис. 2). Значение радиуса съезда «работает в связке» с параметром расчётной скорости на съезде. При задании расчётной скорости устанавливается

соответствующее ей значение радиуса в плане, и наоборот, при изменении радиуса в плане меняется расчётная скорость, показывая, какая скорость соответствует заданному радиусу. Это позволяет гибко настраивать параметры съезда и помогает инженеру не выйти за рамки ограничений.

Построенные оси съездов проверяются на возможность обеспечения необходимого продольного уклона (в большинстве случаев — 40‰) [5], и в случае, если длины съезда недостаточно, система показывает преду-

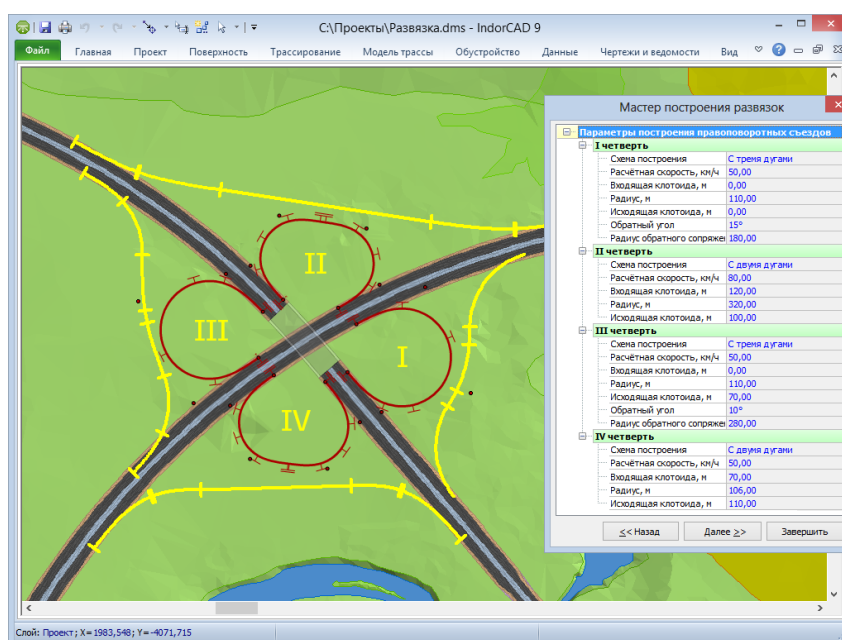


Рис. 3. Построение правоповоротных съездов

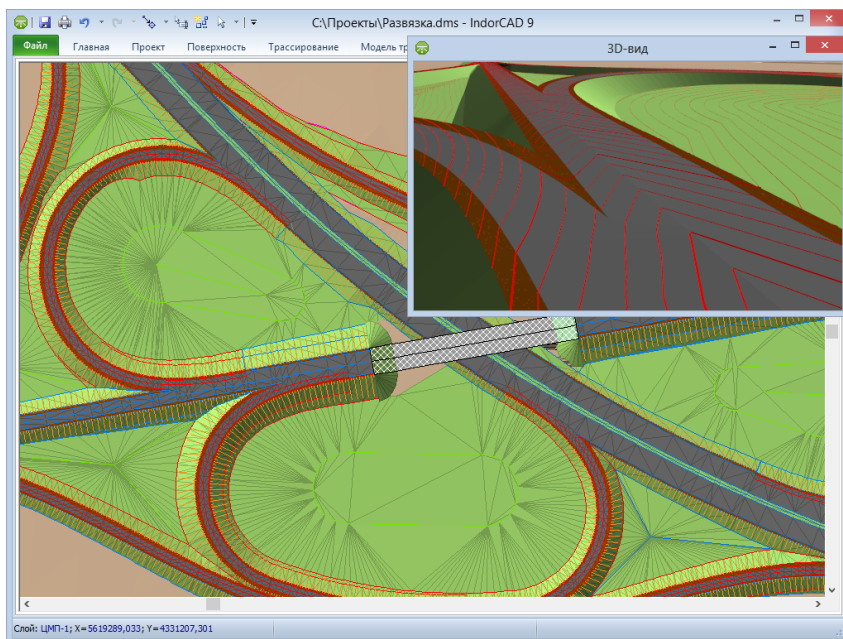


Рис. 4. Развязка, запроектированная с использованием мастера

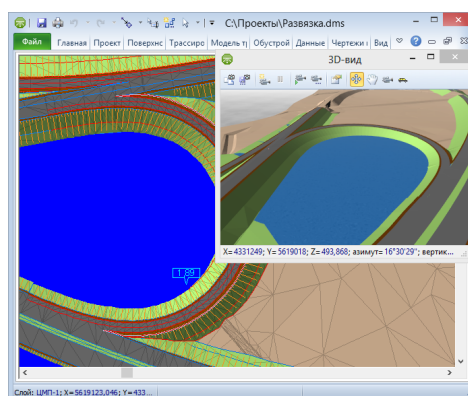


Рис. 5. «Зоны затопления» на плане и в 3D-виде



Рис. 6. Объекты инженерного обустройства на развязке



Рис. 7. Предварительный указатель направлений на развязке

прежде. Это говорит о том, что нужно изменить какие-то из параметров съезда, например, увеличить радиус в плане.

Построение правоповоротных съездов

Создание правоповоротных съездов во многом аналогично созданию левоповоротных съездов: для каждой четверти выбирается схема построения (с одной кривой либо с двумя кривыми), задаются радиусы кривых в плане, контролируется обеспечение расчётной скорости и продольных уклонов (рис. 3).

Отдельно следует отметить возможность автоматического построения правоповоротного съезда с тремя кривыми для обеспечения большей компактности транспортной развязки. Учёт свободной территории особенно важен при проектировании развязок в пригородной или городской зоне, где ограниченная свободная территория может заставить пойти на изменение плановой геометрии съездов.

Результат работы мастера

Мастер по проектированию транспортной развязки строит все съезды с заданными параметрами, формирует готовые продольные профили с возможностью их дальнейшего редактирования. Автоматически проектируются проезжие части и обочины всех съездов, добавляются переходно-скоростные полосы с параметрами, соответствующими категориям и продольным уклонам главных трасс. Полностью выполняется вертикальная и горизонтальная увязка съездов с основными трассами, выполняется проектирование виражей (рис. 4). Качество построенной проектной поверхности можно оценивать по изолиниям, в окне 3D-вида и многими другими инструментами системы.

На базе двух главных трасс может быть создано несколько вариантов развязки для их сравнительной оценки по различным критериям: общая площадь развязки, объёмы земляных работ, показатели безопасности движения и пр.

Контроль обеспечения водоотвода

В проекте вертикальной планировки транспортной развязки необходимо решить задачу водоотведения как

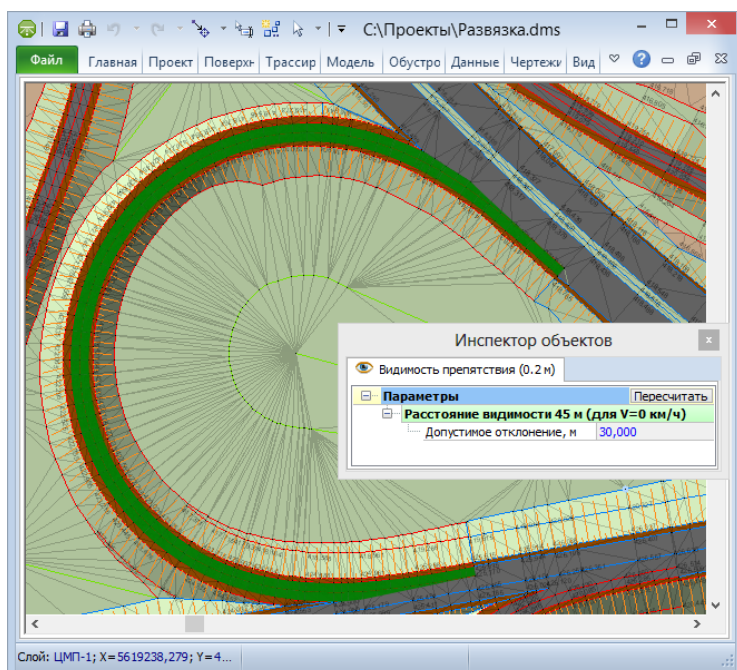


Рис. 8. Картограмма видимости для съезда

с поверхности проезжей части основных дорог и съездов, так и из замкнутых контуров, образуемых съездами. Для отведения воды из замкнутых контуров, как правило, поверхность земли внутри контура моделируется таким образом, чтобы обеспечить сток воды в определённое место в соответствии с общим направлением стока с территории, на которой расположена транспортная развязка [2]. Далее в этих местах проектируются водоотводные сооружения.

Чтобы убедиться в правильности проектных мер по отведению воды, система IndorCAD предлагает удобные и наглядные инструменты. Для контроля эффективности принятых мер можно отобразить на проектной поверхности так называемые «зоны затопления» — участки, которые останутся под водой, если «пройдёт сильный дождь» (рис. 5). На зонах затопления специальной меткой показывается самое глубокое место. Если в этом месте разместить входной оголовок водопропускной трубы, а её выходной оголовок — на нижерасположенный участок, с которого водоотвод обеспечен, то можно убедиться, что отвод воды с территории замкнутого контура обеспечен.

Следует отметить, что такой инструмент анализа позволяет выявить в замкнутых контурах возможные места застоя воды: если после создания водоотводного сооружения в контуре останутся «лужи», значит — организация водоотведения выполнена не совсем правильно.

Инженерное обустройство транспортных развязок

Важным мероприятием для проектирования организации безопасного движения на транспортных развязках является решение вопросов их инженерного обустройства, включающего

в себя устройство ограждений, направляющих устройств, расстановку дорожных знаков, разметку проезжей части и т.д. Проектирование инженерного обустройства в полной мере представлено в системе IndorCAD, включая формирование специализированных ведомостей по всем объектам. Инструменты системы позволяют создавать дорожные ограждения, сигнальные столбики, наносить разметку проезжей части, размещать дорожные знаки (рис. 6).

Обустройство современной транспортной развязки дорожными знаками невозможно без предварительных указателей направлений, поскольку развязки, как правило, занимают большую площадь, и поэтому водитель не может видеть всей транспортной развязки, а также могут иметь сложную схему, что не позволит правильно выбрать нужное направление. В связи с этим особенно востребованной становится задача разработки знаков индивидуального проектирования для создания предварительных указателей направлений, которая также решена в системе IndorCAD (рис. 7).

Оценка расстояния видимости на развязке

Отдельного внимания заслуживает вопрос обеспечения видимости на транспортной развязке. При движении по развязке должна быть обеспечена боковая видимость на всём протяжении основных дорог и съездов, видимость при движении на кривых, видимость в зонах выезда со съездов на основную дорогу [5].

Очевидно, что использование традиционных способов оценки видимости отдельно в плане и продольном профиле не позволит решить задачу проверки видимости на транспортной развязке, ведь эти методы не учитывают влияние раз-

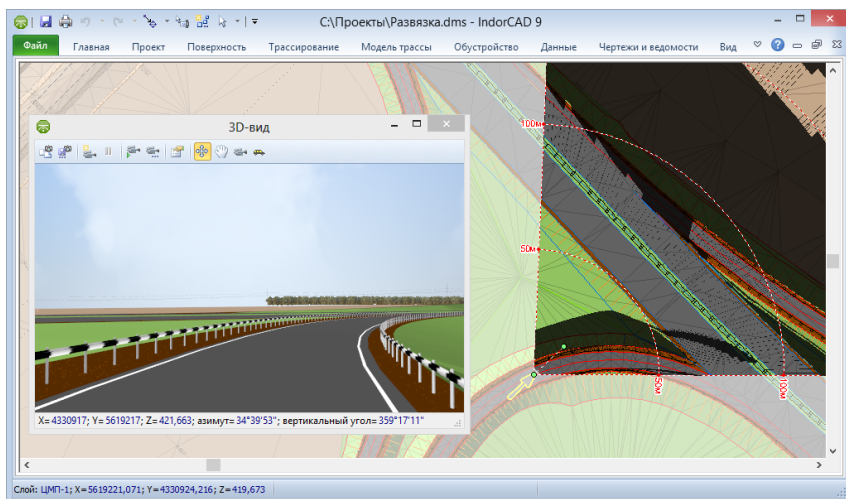


Рис. 9. Анализ видимости «методом теней» при выезде на основную дорогу

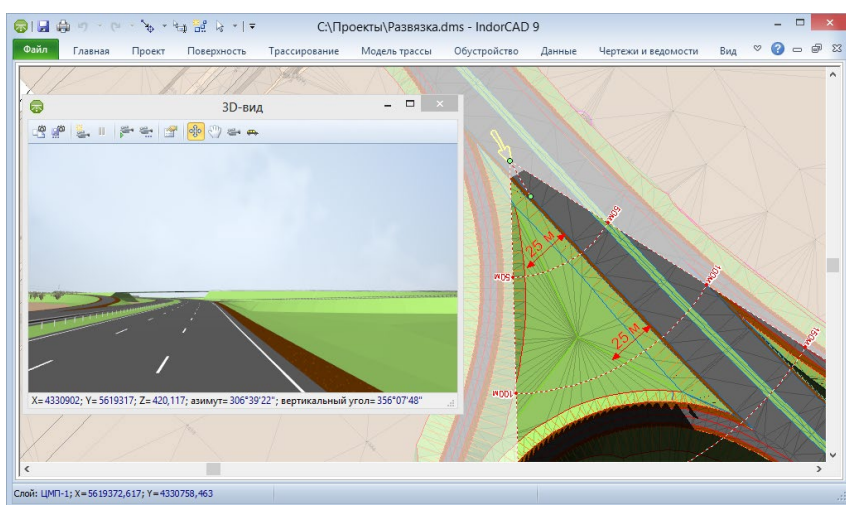


Рис. 10. Анализ боковой видимости «методом теней»

личных объектов, находящихся в зоне расположения развязки. Например, видимость в плане на криволинейных участках съездов может быть ограничена при наличии внутри кривых различных строений и насаждений, видимость в зоне выезда со съезда может быть значительно снижена из-за наличия дорожных ограждений, дорожных знаков и т.д.

Таким образом, провести комплексную проверку видимости на транспортную развязку можно только по 3D-модели местности и проектного решения. Для этой цели в системе проектирования автомобильных дорог IndorCAD реализован расчёт пространственной видимости методом 3D-моделирования. Он позволяет комплексно проанализировать всю цифровую модель местности, включающую в себя трёхмерную модель существующей поверхности и поверхности дороги, и все объекты, расположенные на ней: здания, зелёные насаждения, дорожные зна-

ки, рекламные щиты, шумозащитные экраны и пр.

Для анализа видимости при движении на кривых можно построить картограмму видимости. Картограмма рассчитывается сразу по всему съезду и показывает зелёным цветом участки, на которых обеспечено минимальное расстояние видимости, заданное для съезда, а красным цветом — участки, где видимость не обеспечена (рис. 8).

Оценка видимости в зонах выезда со съездов на основную дорогу выполняется «методом теней». В этом методе используется виртуальный мощный источник света, исходящий из точки расположения глаз водителя. При этом от всех предметов, расположенных на пути его лучей, отбрасываются тени. Те участки поверхности, которые оказались в тени, не видны, поскольку загорожены какими-либо объектами. По затенённым участкам можно составить «карту теней» для заданной точки обзора. При наложении полученного результата на план получает-

ся наглядное отображение невидимых водителю зон.

Для расчёта видимой зоны на участке выезда на основную дорогу достаточно расположить камеру на съезде на высоте глаз водителя и направить угол обзора на зону минимальной видимости (рис. 9). Если в зоне нет затенённых участков, значит — видимость обеспечена. Таким образом можно убедиться, достаточно ли длина обзора участка основной дороги для безопасного выезда на неё.

Аналогично можно оценить боковую видимость: расположить камеру на основной дороге на крайней полосе движения и убедиться, обеспечено ли расчётное расстояние боковой видимости от кромки проезжей части (рис. 10).

Расчёт коридоров движения транспортных средств

Радиусы левоповоротных съездов на транспортных развязках по типу

«Клеверный лист» обычно варьируются в пределах 60–100 м. Однако в стеснённых условиях, например, при проектировании в городе, величина радиусов может быть существенно уменьшена. В связи с этим возникает необходимость проверки возможности проезда по съездам крупногабаритных и длинномерных транспортных средств.

В зарубежной практике (США, Германия и др.) при оценке проектного решения уже давно широко применяется процедура проверки возможности проезда крупногабаритных транспортных средств по сложным участкам. Для этого выполняется расчёт коридоров движения, возникающих при проезде транспортных средств по заданным траекториям.

В девятом поколении программных продуктов «ИндорСофт» реализована возможность расчёта коридоров движения транспортных средств. Следует отметить наличие библиотеки типовых транспортных средств, из которой можно выбрать модель автомобиля для расчёта. При необходимости можно в специальном конструкторе создать новую модель расчётного автомобиля. Коридор движения отображается на плане и позволяет легко определить участки, в которых недостаточно места для осуществления манёвра (рис. 11). Эта информация даёт возможность сделать важный вывод о том, позволяет ли геометрия съездов транспортной развязки обеспечить безопасный проезд по ним транспортных средств определённой конфигурации и габаритов (длинномерные транспортные средства, автопоезда и пр.), и, если нет, — принять необходимые меры: внести изменения в существующий проект, изменив радиусы съездов, или же полностью изменить проектное решение.

Учитывая возможность эскизного моделирования нескольких вариантов транспортной развязки в одном проекте, можно говорить о том, что моделирование движения различных транспортных средств по соответствующим траекториям меняет сам подход к проектированию, когда уже на начальном этапе можно выявить недостатки каких-либо решений и внести соответствующие модификации [6].

Выводы

Задача автоматизации процесса проектирования транспортных развязок становится всё более востребованной в настоящее время, и связано это как с увеличением общего количества проектов развязок, так и с ограниченными временными рамками на выполнение проектов. Проектирование транспортной развязки требует комплексного подхода, при котором учитывается всё многообразие факторов, влияющих на финальное проектное решение, а также максимальной автоматизации всех рутинных и трудоёмких процессов. Особо следует отметить, что эффективное и качественное выполнение проекта развязки возможно только при наличии

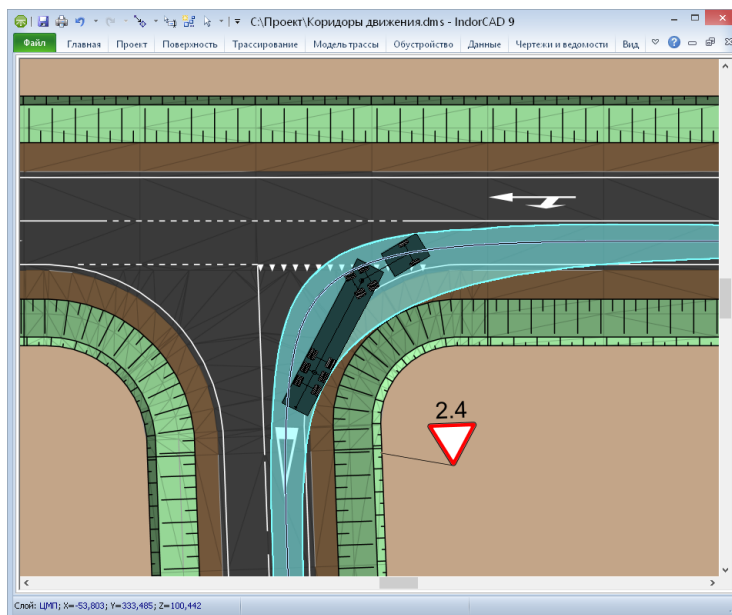


Рис. 11. Оценка коридора движения транспортного средства при движении по съезду

полноценной 3D-модели проекта и современных инструментов для её анализа.

Модуль по проектированию транспортных развязок в составе САПР IndorCAD был апробирован при вариантном моделировании транспортной развязки на автомобильной дороге «Новосибирск — аэропорт Толмачёво» в районе международного выставочного комплекса ООО «Сибирь Экспоцентр» (г. Новосибирск). Работы выполнялись специалистами инженерной группы ООО «Индор-Мост».

Литература:

1. ВСН 103–74 Технические указания по проектированию пересечений и примыканий автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1975.
2. Гохман В.А., Визгалов В.М., Поляков М.П. Пересечения и примыкания автомобильных дорог: Учеб. пособие для авт.-дор. спец. вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1989. 319 с.
3. Бойков В.Н. САПР АД — перспективы развития // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2013. №1(1). С. 6–9.
4. Петренко Д.А. Новое поколение программных продуктов ИндорСофт // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2013. №1(1). С. 10–17.
5. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02–85. М., 2013.
6. Елугачёв П.А., Катасонов М.А., Елугачёв М.А. Обоснование ширины и количества полос движения на кольцевых пересечениях автомобильных дорог // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2013. №1(1). С. 26–30.