Методическое обеспечение автоматизированного проектирования кольцевых пересечений

Поспелов П.И., д.т.н., профессор, первый проректор МАДГТУ (МАДИ) (г. Москва)
Щит Б.А., к.т.н., доцент, доцент МАДГТУ (МАДИ), (г. Москва)
Овчинников М.А., к.т.н., директор НПФ «Топоматик» (г. Санкт-Петербург)
Вершков А.А., инженер НПФ «Топоматик» (г. Санкт-Петербург)
Зобнин М.Н., инженер «Autodesk CIS» (г. Москва)
Жуков А.В., инженер «Autodesk CIS» (г. Москва)
Елугачев П.А., к.т.н., директор ООО «Индор–Мост» (г. Томск)
Катасонов М.А., заместитель директора ООО «Индор–Кузбасс» (г. Кемерово)
Величко Г.В., к.т.н., главный конструктор компании «Кредо-Диалог» (г. Минск)
Сикорская Л.И., инженер компании «Кредо-Диалог» (г. Минск)

В статье представлены содержание, структура и основные положения проекта «Методические рекомендации по проектированию кольцевых пересечений при строительстве и реконструкции автомобильных дорог», разработанного в Московском автомобильно-дорожном государственном техническом университете (МАДИ) на кафедре изысканий и проектирования дорог, и особенности проектирования кольцевых пересечений с использованием систем автоматизированного проектирования, получивших наибольшее распространение в дорожных проектных организациях России и стран СНГ: AutoCAD Civil 3D (Autodesk, США), CREDO («Кредо-Диалог», Беларусь), IndorCAD («ИндорСофт», Томск), Топоматик Robur («Топоматик», Санкт-Петербург).

Анализ зарубежной практики проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог показывает, что одним из направлений повышения транспортно-эксплуатационных качеств пересечений автомобильных дорог в одном уровне является широкое применение планировочных решений кольцевой организации движения [1]. Так, например, в одном из пригородов Лондона на один квадратный километр территории приходится более трёх кольцевых пересечений [2]. Подобные решения принимаются как на загородных автомобильных дорогах, так и на улично-дорожной сети населённых пунктов.

Распространение кольцевых пересечений за рубежом обусловлено их более высокими транспортно-эксплуатационными качествами по сравнению с другими планировочными решениями по организации движения на пересечениях в одном уровне.

Общепризнано **снижение аварийности** и, особенно, **тяжести** дорожно-транспортных происшествий на кольцевых пересечениях, что обусловлено пониженными скоростями движения в зоне кольцевых пересечений и меньшей разницей между максимальными и минимальными скоростями транспортных средств при проезде пересечений [2–4]. Проезд кольцевых пересечений осуществляется с меньшими скоростями, и при въезде на пересечение водителям необходимо контролировать только одно направление, в результате чего для выполнения манёвра водители используют меньшие значения граничных интервалов [2]. Это обстоятельство обеспечивает более высокую **пропускную способность** кольцевых пересечений по сравнению с нерегулируемыми. В зарубежной литературе [5] приведены данные, свидетельствующие о нормальной работе кольцевых пересечений при суммарной интенсивности движения на пересекающихся автомобильных дорогах до 80 тыс. авт./сут.

Саморегулируемый и более равномерный проезд кольцевых пересечений способствует сни-

жению **расхода горючего** и **токсичности выбросов вредных веществ**, поступающих в атмосферу с отработавшими газами автомобилей. Расход горючего при этом сокращается более чем на 25%, а токсичность выбросов вредных веществ (углекислый газ, оксиды азота, окись углерода) — на 15–30% [6]. В результате уменьшения количества остановок автомобилей перед проездом кольцевых пересечений, а следовательно, и необходимости разгона остановившихся автомобилей снижается транспортный шум. Считается, что можно добиться снижения транспортного шума на 2–4 дБА [7].

Методические рекомендации по проектированию кольцевых пересечений при строительстве и реконструкции автомобильных дорог

К сожалению, несмотря на явные преимущества кольцевых пересечений и весьма широкое их использование в зарубежной практике, в современных отечественных нормативно-методических документах вопросы проектирования кольцевых пересечений отражены недостаточно полно. Для приведения методического обеспечения проектирования кольцевых пересечений в соответствие с общепринятой международной практикой на кафедре изысканий и проектирования дорог Московского автомобильно-дорожного технического университета (МАДИ) разработан проект «Методические рекомендации по проектированию кольцевых пересечений при строительстве и реконструкции автомобильных дорог» (далее «Методические рекомендации») [2, 8]. Актуальность такого методического документа обусловлена также вступлением в силу 20 ноября 2010 г. Постановления Правительства Российской Федерации от 10 мая 2010 г. №316, в котором указано, что *водитель транспортного средства, находящегося на кольцевом пересечении, пользуется преимуществом перед выезжающими на такой перекрёсток транспортными средствами.*

В связи с новыми для отечественных условий представлениями о проектировании кольцевых пересечений в методических рекомендациях большое внимание уделено вопросам терминологии, в частности уточнены понятия отдельных элементов пересечений и способов организации движения, предложена классификация кольцевых пересечений.

В связи с новыми для отечественных условий представлениями о проектировании кольцевых пересечений в методических рекомендациях большое внимание уделено вопросам терминологии...

Целесообразность применения кольцевых пересечений в методических рекомендациях определена:

- условиями работы пересечений;
- местоположением пересечения;
- интенсивностью движения пересекающихся дорог;
- категориями пересекающихся дорог.

Практика эксплуатации кольцевых пересечений показала, что для обеспечения высокой пропускной способности, удобных и безопасных условий движения недостаточно соблюдать только определённые размеры геометрических элементов. Не менее важны положение каждого из них и их взаимная увязка. В методических рекомендациях сформулированы требования:

- **к центральной части кольцевых пересечений** (диаметр кольцевого пересечения, кольцевая проезжая часть: ширины полос движения и их количество, величина поперечного и продольного уклонов проезжей части; центральный островок: размеры, форма, конструктивное решение; краевая полоса кольцевого пересечения, отделяющая кольцевую проезжую часть от обочины, бортового камня тротуара или разделительной полосы безопасности кольцевого пересечения);
- **к участкам въезда и выезда** (направляющие островки: размеры и форма; конструктивное решение; проезжая часть участков въезда и выезда: ширины полос движения и их количество, радиусы при въезде на кольцевую проезжую часть и выезде с неё);
- **к характеристикам примыкающих направлений** (количество примыкающих направлений, углы между ними; количество полос движения примыкающего направления, ширина полосы движения, длина участка изменения ширины (отгона) проезжей части перед въездом на кольцо, краевые полосы на участках подходов к кольцевой проезжей части);
- **к дополнительной полосе для выполнения правых поворотов**.

Особое внимание в проекте методических рекомендаций уделено способам сопряжения проезжих частей и других элементов между собой. Даны рекомендации по размещению тротуаров, пешеходных и велосипедных дорожек, обеспечивающих удобное и безопасное движение велосипедистов и пешеходов, в том числе и маломобильных групп населения.

Для оценки условий **видимости** в зоне кольцевых пересечений, наряду с традиционными расчётными схемами расстояний видимости, рекомендована расчётная схема расстояния видимости, проезжаемого за время оценки обстановки, принятия решения о манёвре и его выполнении, применяемая в США с середины 90-х годов (Decision Sight Distance) [9, 10].

Учитывая широкое применение за рубежом кольцевых пересечений в качестве элемента **неполных транспортных развязок**, в проекте методических рекомендаций предложены соответствующие схемы, сокращающие количество конфликтных точек на примыкании съездов к второстепенной дороге, уменьшающие площади, занимаемые развязкой, и сокращающие размеры главного транспортного сооружения [11].

В разделе, посвящённом **реконструкции** пересечений, даны рекомендации по планировке элементов кольцевых пересечений в стеснённых условиях: перепланировка центральной части кольцевого пересечения; размещение элементов подходов (смещение осей подходов и их взаимного расположения); планировка и форма направляющих островков. Даны также рекомендации по планировке мини-кольцевых пересечений.

Поскольку эффективным средством, повышающим удобство и безопасность движения на кольцевых пересечениях, считается **архитектурно-ландшафтное оформление**

их элементов и прилегающей территории, в проекте методических рекомендаций этому аспекту проектирования уделено особое внимание. Даны практические рекомендации по архитектурно-ландшафтному оформлению кольцевых пересечений за счёт вертикального решения центрального островка и выбора материалов отделки его поверхности, по озеленению элементов пересечений, по размещению малых архитектурных форм в зоне пересечения. При этом были учтены климатические условия, характерные для различных регионов России.

Зарубежный опыт проектирования и эксплуатации кольцевых пересечений показал, что их преимущества могут быть реализованы только при детальной проработке вопросов **организации движения**. В соответствующем разделе проекта документа даны рекомендации по нанесению разметки и расстановке дорожных знаков на кольцевых пересечениях. Поскольку в ГОСТ Р 522893–2004 «Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств» отсутствуют типы горизонтальной разметки, которые обязательны для разметки кольцевых пересечений во всех странах, где осуществляется широкая их эксплуатация, предложено дополнить ГОСТ Р 52289–2004 данными типами разметки [8].

Для улучшения условий зрительного ориентирования водителей транспортных средств и повышения безопасности дорожного движения в тёмное время суток в проект методических рекомендаций включён раздел «Освещение кольцевых пересечений».

Для оценки планировочного решения, аварийности, пропускной способности и потерь времени на кольцевых пересечениях в проекте рекомендованы соответствующие расчётные схемы и формулы. Поскольку основными геометрическими параметрами, определяющими режимы проезда кольцевых пересечений, являются угол въезда на кольцевую проезжую часть и траектории свободного проезда пересечения, даны рекомендации по их определению и указаны их оптимальные значения.

Представлена последовательность выполнения расчётов для технико-экономического обоснования и сравнения вариантов пересечений. Приведены основные экономические показатели, указаны исходные данные для технико-экономического сравнения вариантов.

Для повышения качества проектных решений кольцевых пересечений включён раздел, в котором представлены возможности проектирования кольцевых пересечений с использованием систем автоматизированного проектирования, получивших наибольшее распространение в дорожных проектных организациях России и стран СНГ: AutoCAD Civil 3D (Autodesk, США), CREDO («Кредо-Диалог», Беларусь), IndorCAD («ИндорСофт», Томск), Топоматик Robur («Топоматик», Санкт-Петербург). В данной статье представлены материалы этого раздела методических рекомендаций, подготовленные при участии разработчиков указанных САПР.

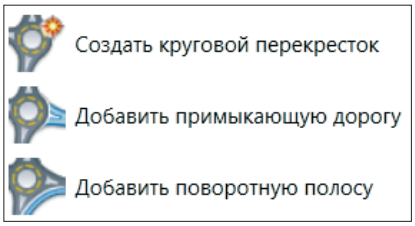

Рис. 1. Фрагмент интерфейса AutoCAD Civil 3D для интерактивного проектирования кольцевых пересечений

Автоматизированная планировка кольцевых пересечений с использованием AutoCAD Civil 3D

В российской локализованной версии AutoCAD Civil 3D кольцевое пересечение определено как «круговой перекрёсток», и его плановое положение проектируется с использованием внутренней команды **«CreateRoundabout»**. Предусмотрено добавление примыкающих направлений и правоповоротной полосы с помощью команд **«_AddApproach»** и **«_AddTurnSlipLane»** (рис. 1).

Интерактивное проектирование кольцевых пересечений осуществляется в последовательности, изложенной ниже.

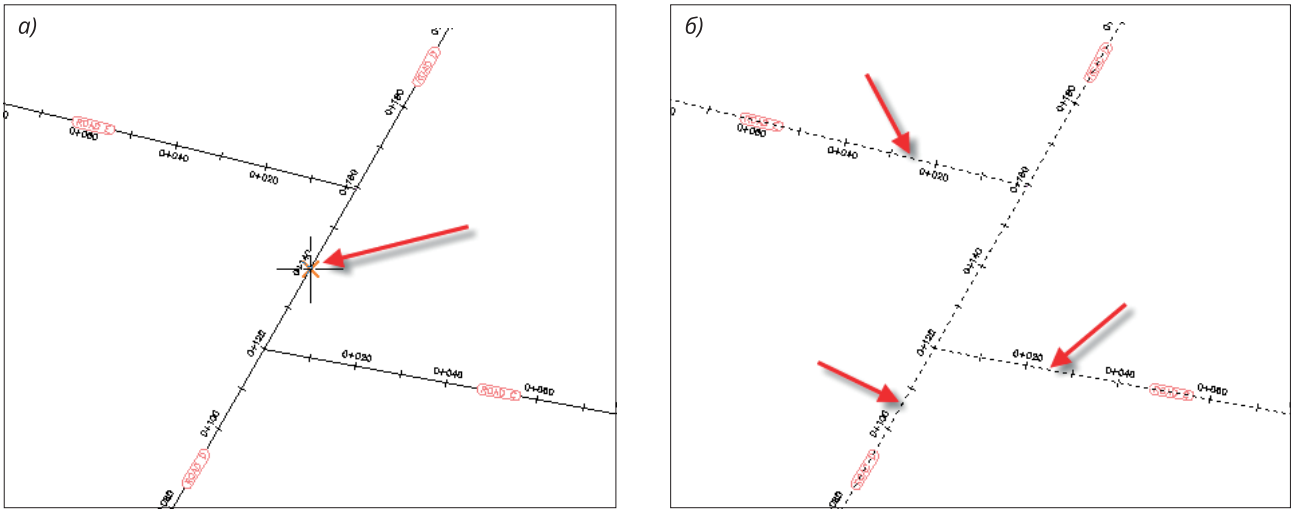

Рис. 2. Проектирование кольцевых пересечений в AutoCAD Civil 3D. Стрелками показано положение фиксации курсора: а) при выборе центра кольцевого пересечения; б) при обозначении дорог, примыкающих к кольцевому пересечению

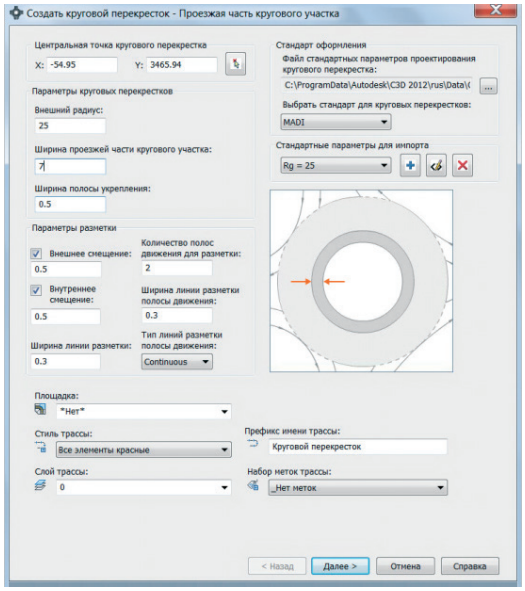

Рис. 3. Диалоговое окно для назначения геометрических характеристик проезжей части кольцевого пересечения

Чтобы задать центральную точку кольцевого пересечения, на вкладке **«Главная»** панели **«Создать проектные данные»** из раскрывающегося списка **«Перекрёстки»** выбирается пункт **«Создать круговой перекрёсток»** (рис. 2).

В диалоговом окне **«Создать круговой перекрёсток»** (рис. 3) назначаются геометрические размеры элементов проектируемого пересечения.

На данном этапе указываются следующие параметры: внешний радиус кольцевой проезжей части; ширина кольцевой проезжей части; при необходимости — ширина краевой полосы центрального островка для движения грузовых автомобилей; ширины разделительных полос, отделяющих кольцевую проезжую часть от обочины (бордюрного камня тротуара) и от разделительно-направляющих островков; линии разметки проезжей части; положение дорожных знаков; стиль отображения на плане характерных линий.

Аналогично указываются геометрические параметры примыкающих направлений (ширина проезжей части, длина и геометрические характеристики участка изменения ширины). Полученное плановое решение кольцевого пересечения представлено на рис. 4.

Для добавления участка, примыкающего к кольцевой проезжей части, на вкладке **«Главная»** панели **«Создать проектные данные»** в раскрывающемся списке **«Перекрёстки»** выбирается пункт **«Добавить примыкающую дорогу»** и указывается примыкающее направление. Окончательное плановое решение показано на рис. 5.

При необходимости может быть добавлена обособленная правоповоротная полоса. Для этого на вкладке **«Главная»** панели **«Создать проектные данные»** в раскрывающемся списке **«Перекрёстки»** выбирается пункт **«Добавить поворотную полосу»**. В процессе работы происходит автоматизированное нанесение дорожной разметки и установка дорожных знаков, результат показан на рис. 6.

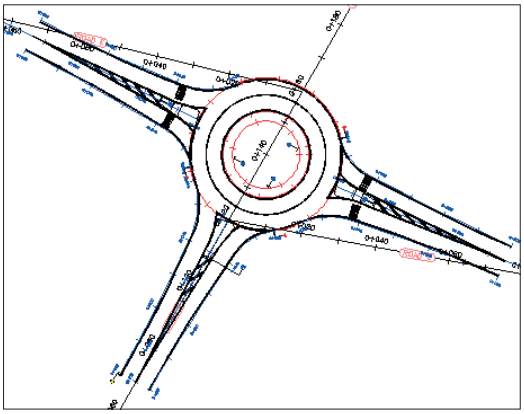

Рис. 4. Плановое решение кольцевого пересечения

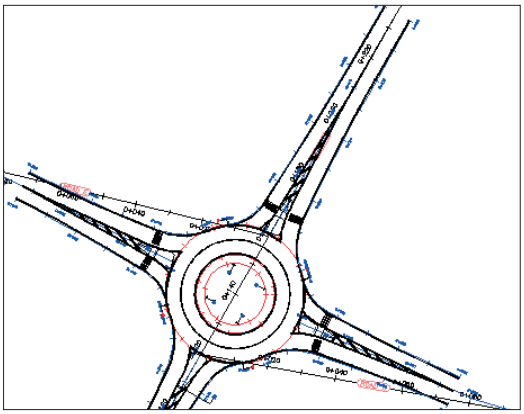

Рис. 5. Плановое решение кольцевого пересечения с добавленным примыкающим направлением

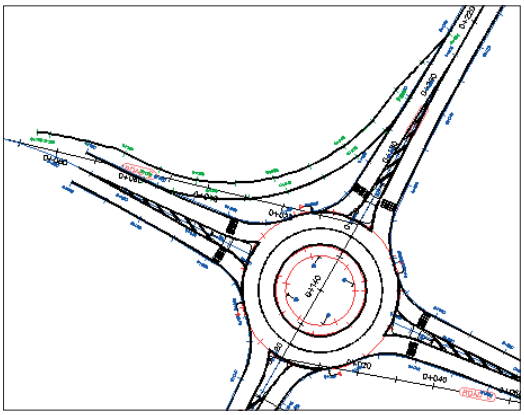

Рис. 6. Плановое решение кольцевого пересечения с обособленной правоповоротной полосой

Для объёмного проектирования и создания 3D-модели кольцевого пересечения используется функционал программы по созданию коридоров.

Построение коридора кольцевого пересечения выполняется в следующей последовательности:

1. Создаются трассы по направлениям (примыкающим и круговому).

2. По созданным трассам строятся профили.

3. Создаётся конструкция (поперечные профили) для участков кольцевого пересечения.

4. Строится коридор (рис. 7).

Для отображения проектных горизонталей на вертикальной планировке кольцевого

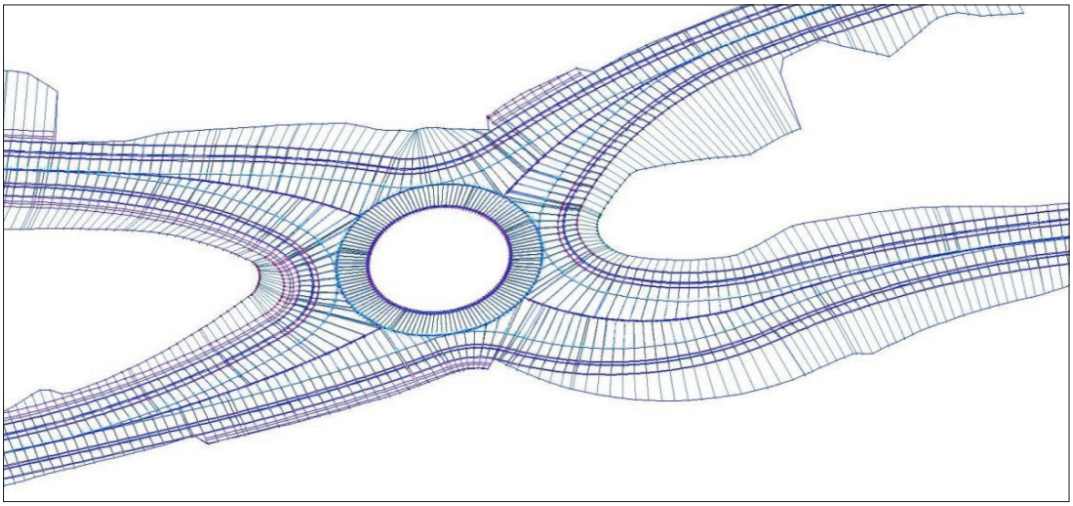

Рис. 7. Модель коридора кольцевого пересечения

Любые изменения модели коридора или конструкций (поперечных профилей) будут приводить к автоматическому перестроению поверхностей и пересчёту объёмов земляных работ, картограммы и обновлению всех таблиц с объёмами материалов дорожной одежды.

пересечения создаётся динамическая поверхность со стилем отображения «проектные горизонтали».

Для вычисления объёмов земляных работ используются поверхности коридора и существующей земли. Результат вычисления объёмов земляных работ можно представить в табличном виде или в виде картограммы. Для вычисления объёмов материалов дорожной одежды используется модель коридора с содержащимися в ней кодами слоёв конструкций дороги. Результаты расчёта объёмов материалов дорожной одежды представляются в табличном виде.

При необходимости корректировки положения кольцевого пересечения или его элементов (например, для улучшения условий отвода воды и согласования вертикальной планировки кольцевого пересечения с существующим рельефом или ситуацией) возможно редактирование трассы осей подходов и основных геометрических элементов кольцевого пересечения.

Любые изменения модели коридора или конструкций (поперечных профилей) будут приводить к автоматическому перестроению поверхностей и пересчёту объёмов земляных работ, картограммы и обновлению всех таблиц с объёмами материалов дорожной одежды.

Проектирование кольцевых пересечений в одном уровне в САПР IndorCAD/Road

Кольцевое пересечение, проектируемое в САПР IndorCAD/Road, представляет собой совокупность определённого количества трасс, увязанных между собой в единую цифровую модель проекта, что позволяет создавать совершенно различные конфигурации кольцевых пересечений.

Основные параметры (исходные данные для проектирования) геометрических элементов кольцевого пересечения определяют в зависимости от расчётной интенсивности движения:

- радиус центрального островка;
- ширину проезжей части на кольце;
- количество полос движения;
- ширины въезда и выезда с кольца;
- количество полос движения на въезде и выезде.

Проектирование кольцевого пересечения осуществляется в следующей последовательности:

1. Трассируют оси пересекающихся автомобильных дорог для определения местоположения центра центрального островка.

2. Трассируют новую трассу «кольцо» (Трасса №1) с постоянным радиусом и моделируют кольцевую проезжую часть (рис. 8а), задавая её проектные данные в инспекторе объектов.

3. С учётом рассчитанных параметров определяют точки начала и конца подхода и выполняют построение въезда и выезда с кольцевого пересечения путём создания новых трасс (Трасса №2 и Трасса №3) (рис. 8б). Далее аналогичным образом производят построение остальных въездов и выездов с кольцевого пересечения.

После трассирования в плане при помощи редакторов продольного и поперечного профилей проектируют профили каждой трассы в отдельности. С учётом принятых геометрических параметров кольцевого пересечения и примыкающих дорог в редакторе поперечного профиля моделируют проезжую часть, обочины, островки безопасности и присыпные бермы (рис. 9).

При помощи специализированного инструмента увязывают поверхности созданных трасс между собой для получения оптимальной

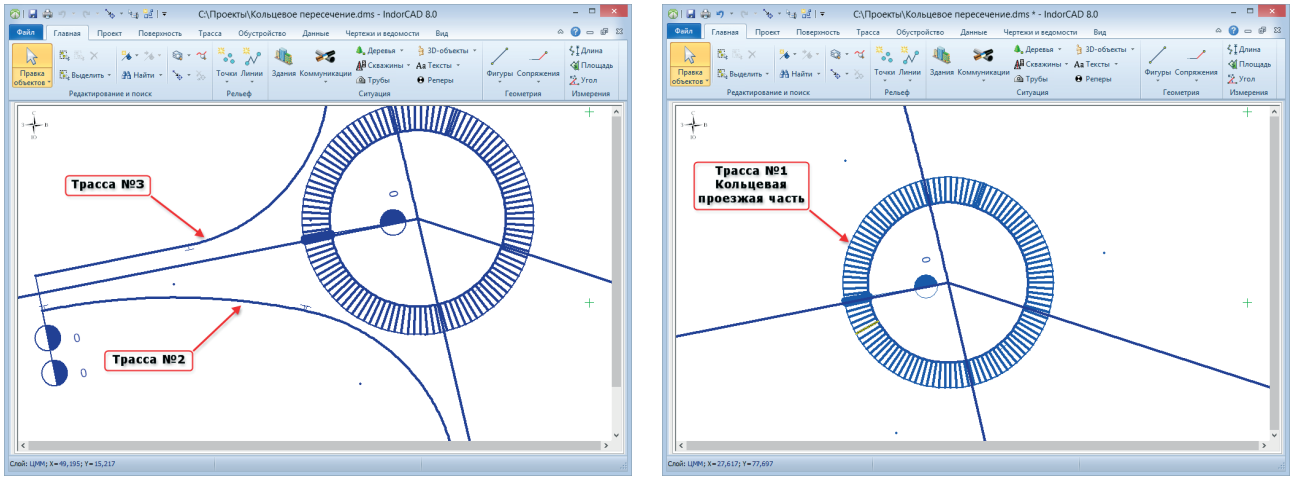

Рис. 8. Трассирование осей
а) пересекающихся дорог и кольцевой проезжей части; б) въездов и выездов с кольцевого пересечения

вертикальной планировки кольцевого пересечения. В САПР IndorCAD/Road имеется возможность на любом этапе проектирования видеть и анализировать проектную поверхность (рис. 10).

На основании раздела 12 методических рекомендаций проектируют организацию **движения в зоне кольцевых пересечений**. В системе IndorCAD/Road реализованы инструменты для проектирования технических средств организации дорожного движения: ограждений и сигнальных столбиков, дорожных знаков и разметки проезжей части.

На любом этапе проектирования кольцевого пересечения в САПР IndorCAD/Road можно формировать, просматривать и оценивать цифровую модель кольцевого пересечения, а также при необходимости записывать видеоролики (рис. 11).

Система IndorCAD/Road предлагает широкий спектр инструментов подготовки бумажной версии проекта: создание чертежей и расчётных ведомостей. В системе IndorCAD/Road все чертежи формируют по единому принципу. В окне предварительного просмотра настраиваются различные параметры чертежа и оценивается результат их применения (рис. 12). Затем подготовленный чертёж может быть распечатан или передан в различные чертёжные системы для дальнейшей компоновки. Чертёж можно экспортировать напрямую в системы IndorDraw, AutoCAD, MicroStation или сохранить в файлы форматов RDW, DWG/DXF, 2D DWF, 3D DWF, PDF, W3C SVG.

Ведомости, формируемые в системе IndorCAD/Road, могут быть экспортированы в программу Microsoft Excel или Open Office Calc в зависимости от того, какая из них установлена на компьютере пользователя, либо распечатаны непосредственно из системы.

Технология проектирования кольцевых пересечений загородных дорог с использованием комплекса программных продуктов CREDO

Проектирование кольцевого пересечения в программном комплексе CREDO осуществляется в следующей последовательности.

1. В зависимости от расчётной интенсивности движения и имеющих-

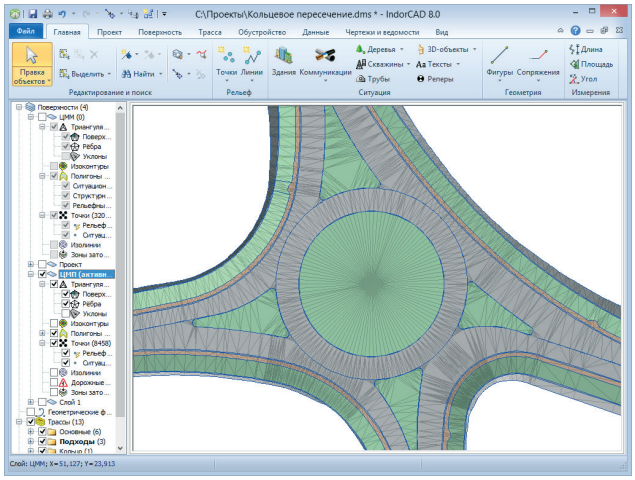

Рис. 9. Модель кольцевого пересечения

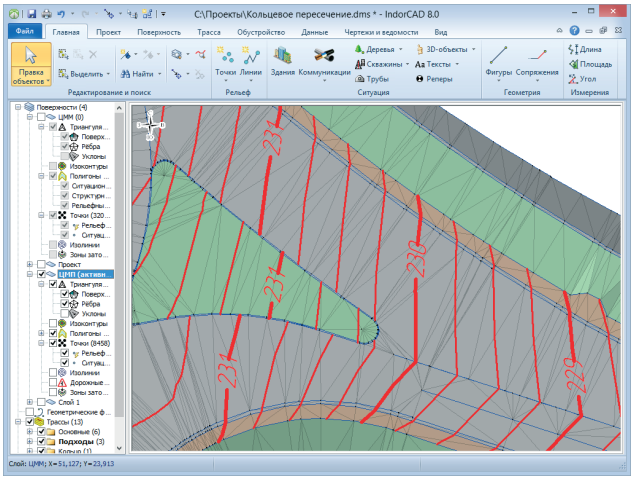

Рис. 10. Вертикальная планировка кольцевого пересечения

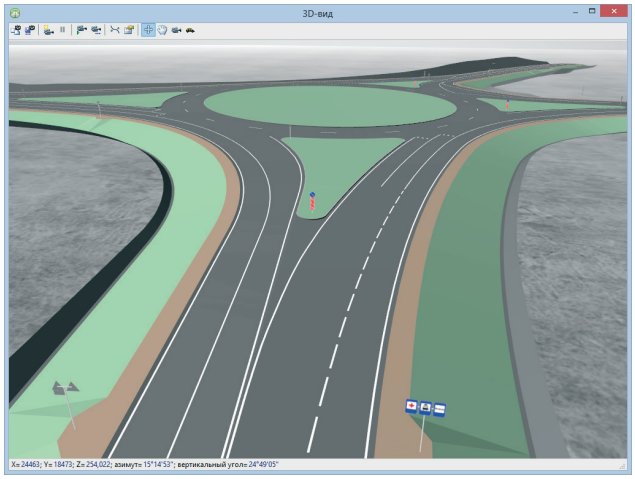

Рис. 11. 3D-вид кольцевого пересечения (цифровая модель)

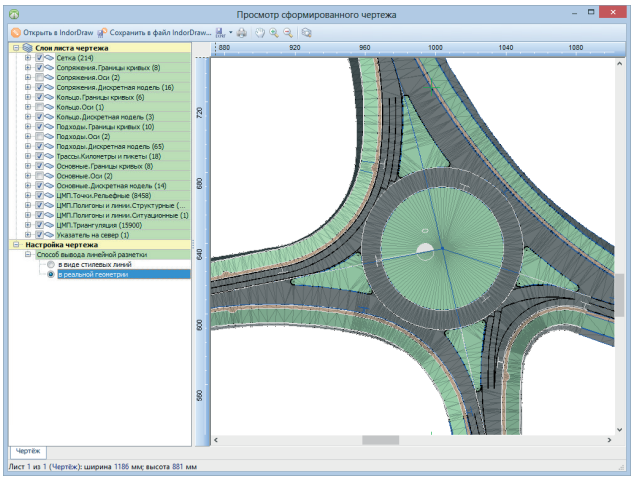

Рис. 12. Окно предварительного просмотра чертежа

ся ограничений определяют внешний диаметр кольцевого пересечения, количество полос движения и ширину проезжей части на кольце и на подходах, а также скорость движения автомобилей на кольце.

2. Вычисляют требуемую величину снижения скорости на подходе к кольцевому пересечению ΔV (разница скоростей на участке перед въездом на пересечение и на самом кольце).

3. Проектирование подходов выполняется таким образом, чтобы водитель, приближаясь к кольцевому пересечению, соблюдал безопасный и комфортный режим движения и вовремя начинал выполнять торможение. Для инициации и обеспечения безопасного снижения скорости автомобилей применяют переходные кривые переменной скорости движения (**VGV_Kurve**). Такой подход к кольцевому пересечению, как правило, состоит из трех **VGV_Kurve**, гладко сопряжённых между собой клотоидами (рис. 13).

4. Параметры переходных кривых переменной (**VGV_Kurve**) и постоянной скорости (клотоиды) определяют с учётом требуемой величины снижения скорости и допустимых норм комфортного и безопасного движения. Для этого применяют программы **Compare_VGV_Kurve.exe** и **Design_VGV_Kurve.exe**.

Полученные в результате функционального проектирования параметры переходных кривых (рис. 14) определяют итоговую геометрию подхода к кольцевому пересечению.

5. По тем же критериям удобства и безопасности движения, учитывая скорость и радиус

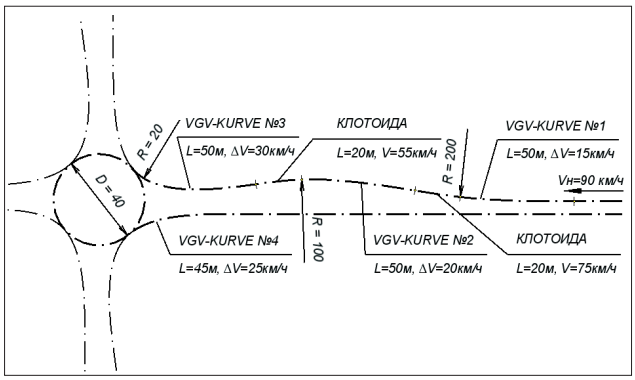

Рис. 13. Проектирование основных элементов кольцевого пересечения и подходов к нему

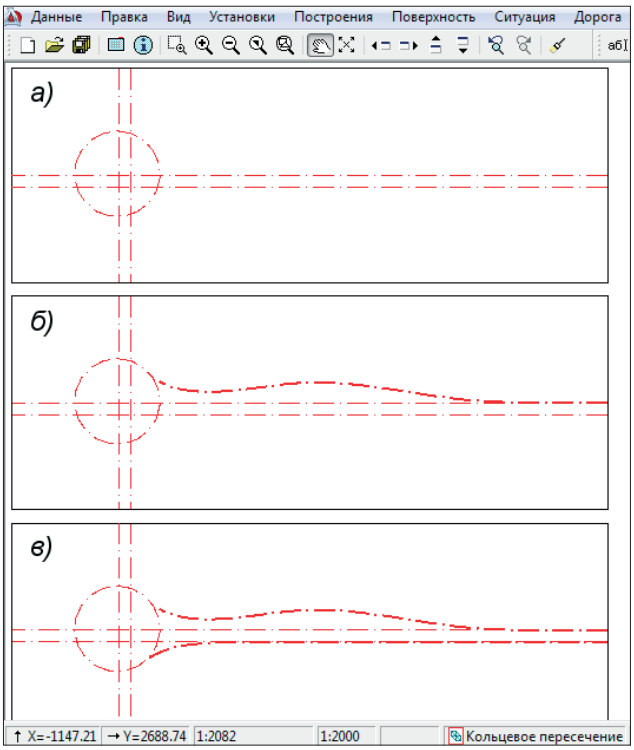

Рис. 14. Этапы (а, б, в) геометрического проектирования в программном комплексе CREDO плана кольцевого пересечения и подходов к нему

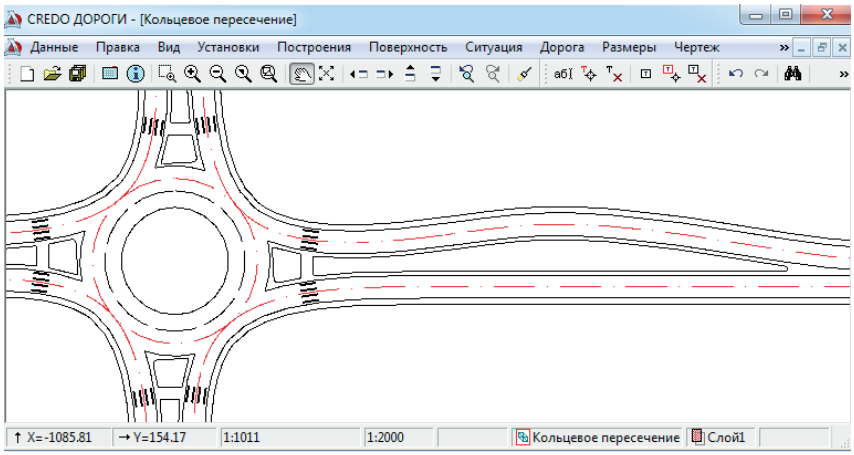

Рис. 15. Кольцевое пересечение с подходами, обеспечивающими снижение скорости перед въездом на кольцо

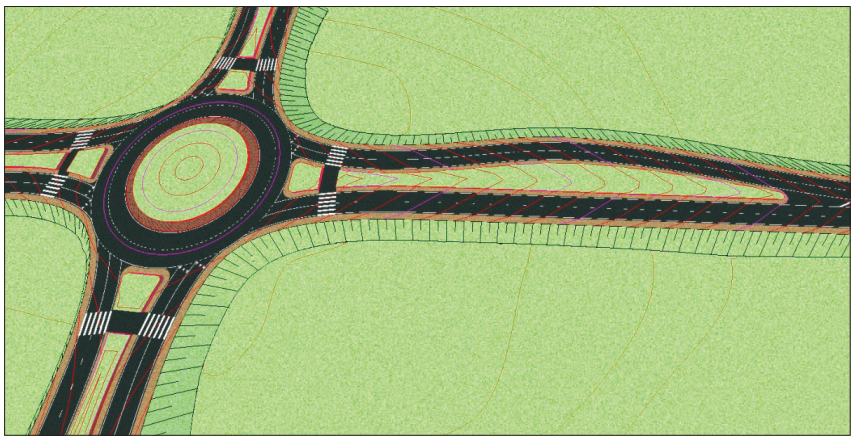

Рис. 16. 3D-модель кольцевого пересечения, созданная универсальными методами построений в ПП CREDO III

сопряжения клотоиды с **VGV_Kurve**, определяют конструктивные параметры клотоид.

Окончательное геометрическое проектирование плана кольцевого пересечения выполняется в программном комплексе CREDO (рис. 14):

1. Вначале вычерчиваются оси полос движения примыкающих направлений и ось движения по кольцу (рис. 14а).

2. С учётом рассчитанных параметров тормозных кривых и клотоид определяются точки начала и конца подхода, и выполняется построение въезда на кольцевое пересечение (рис. 14б).

3. После построения въезда на кольцевое пересечение вычисляются параметры кривой **VGV_Kurve** для выезда с кольца, и выполняется её построение (рис. 14в). Закономерность кривизны траектории выезда с кольца, запроектированная при помощи кривой **VGV_Kurve**, согласована со свойственным этому элементу режимом ускоренного движения автомобилей, который применяют водители для скорейшего выезда с кольцевого пересечения.

4. Далее аналогичным образом происходит построение осей движения всех примыкающих направлений.

5. С учётом принятых геометрических параметров кольцевого пересечения и примыкающих дорог моделируется проезжая часть, обочины, пешеходные дорожки, пешеходные переходы и островки безопасности (рис. 15).

6. Вертикальная планировка 3D-модели кольцевого пересечения и её пространственный анализ, а также подготовка соответствующих чертежей и таблиц, включая детальные объёмы работ, обеспечиваются стандартными методами ПП CREDO III (рис. 16).

Проектирование кольцевых пересечений в программном комплексе Топоматик Robur

В программном комплексе Топоматик Robur для проектирования кольцевых пересечений используется тот же самый функционал, что и для проектирования развязок в разных уровнях. Пространственная модель кольцевого пересечения состоит из набора подобъектов и связанных с ними проектных поверхностей. Подобъект в терминологии Robur — это структура данных, которая определяет план, продольный и поперечный профили трёхмерного объекта коридорного типа. Проектирование ведётся в единой многооконной среде, позволяющей работать одновременно с планом, профилем и поперечниками (рис. 17). При редактировании плана изменяется продольный профиль; изменение профиля влечёт за собой вертикальное смещение поперечников; при работе с поперечниками результат тут же отображается на плане. Топоматик Robur автоматически обеспечивает целостность пространственной модели объекта.

Горизонтальная геометрия кольцевого пересечения задаётся набором осевых линий, состоящих из сопряжённых отрезков прямых, дуг и клотоид. Для построения основных геометрических элементов пересечения, обеспечивающих непрерывное движение в зоне кольцевого пересечения (въезд, движение по кольцевой проезжей части, выезд), предназначен обширный функционал плановых построений.

Кольцевую проезжую часть определяет центральный подобъект, ось которого идёт по радиусу центрального островка (рис. 18). На примыкающих подобъектах задаются промежуточные полосы, образующие направляющие островки. Наиболее трудоёмкой является планировка участков въездов и выездов. Здесь чрезвычайно эффективен механизм плановых построений, позволяющий автоматизировать проектирование участков уширения на подходе к пересечению. В результате создаются сопрягающие подобъекты по кромкам съездов.

Рекомендуемая последовательность планировки кольцевого пересечения представлена в таблице 1.

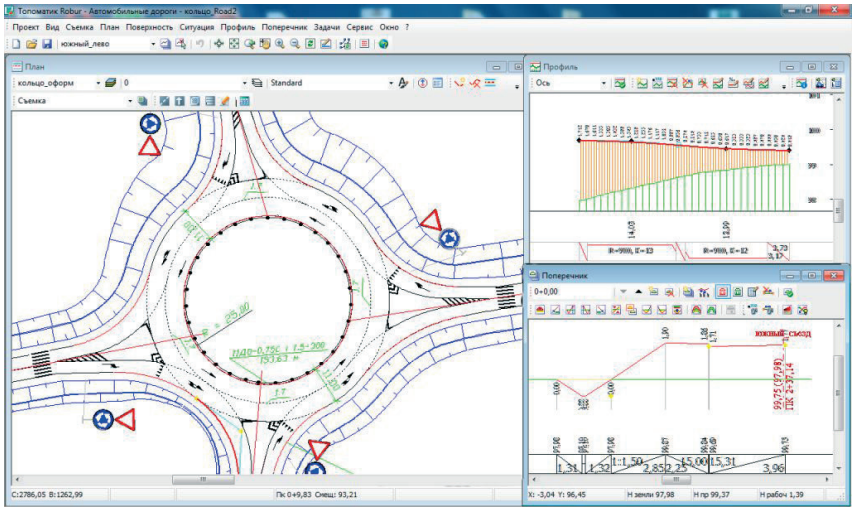

Рис. 17. Интерфейс программного комплекса Топоматик Robur

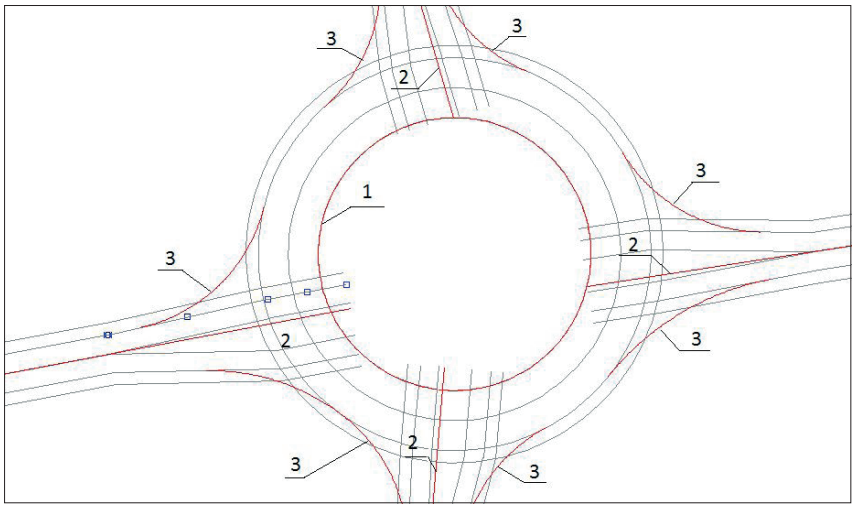

Рис. 18. Оси подобъектов горизонтальной планировки кольцевого пересечения; 1 — центральный островок; 2 — примыкающие объекты; 3 — сопрягающие подобъекты

Механизм плановых построений является универсальным. Сопрягаться могут как отдельные примитивы, так и комплексные линии, состоящие из множества сопряжённых отрезков, дуг и клотоид. При этом выполняется автоматический подбор первого приближения, и имеется возможность визуально (при помощи мыши) редактировать параметры сопряжений.

Вертикальную планировку пересечения определяет совокупность продольных и поперечных профилей кольцевого, примыкающих и сопрягающих подобъектов. Многооконный интерфейс Топоматик Robur позволяет значительно упростить взаимную увязку составляющих подобъектов. Это достигается за счёт механизма динамических рассекаемых поверхностей. Например, при увязке продольных уклонов примыкающих или сопрягающих подобъектов проектировщик видит в рабочем окне сечение поверхности центрального (кольцевого) подобъекта и имеет возможность привязаться к нему с заданным уклоном. Если по каким-либо причинам в процессе проектирования изменяется планировка кольцевой части (например, для обеспечения водоотвода), то динамическая поверхность мгновенно перестраивается. Также перестраиваются и сечения, что информирует проектировщика о необходимости корректировки сопряжённых профилей. Таким образом обеспечивается динамика, что крайне важно при многовариантном проектировании.

Границы составляющих подобъектов определяются в плане положением линии сопряжения уклонов, изначально задаваемой в зависимости от схемы и геометрических характеристик кольцевого пересечения. В итоге создаётся комплексная проектная поверхность кольцевого пересечения и отображается в окне 3D-просмотра (рис. 19).

Анализ комплексной поверхности позволяет контролировать совпадение отметок и уклонов по линиям сопряжения составляющих подобъектов. Также легко осуществляется контроль водоотвода. Генерируемые Топоматик Robur проектные поверхности могут напрямую загружаться в бортовой компьютер грейдера или фрезы с це-

Таблица 1. Последовательность планировки кольцевого пересечения в программном комплексе Топоматик Robur

Этап	Содержание этапа	Краткое описание операций
1	Создание подобъекта (кромка центрального островка)	Задание оси кольцевого подобъекта (команда **«План»** — **«Создать ось из примитивов»**). Если пересечение имеет форму окружности, то исходный примитив создаётся при помощи команды **«Ситуация»** — **«Рисовать»** — **«Дуга»**. В более сложных случаях используется механизм трассирования, реализуемый командой **«План»** — **«Наметить/продлить ось»**.
2	Назначение геометрических параметров центрального островка	При помощи «Мастера верха земляного полотна» в табличном виде задаются ширины кольцевой проезжей части, разделительных полос и обочин. Одновременно с ширинами задаются и уклоны полос кольцевой проезжей части.
3	Планировка участков походов к кольцевой проезжей части	Аналогично созданию центрального островка при помощи команд **«План»** — «**Наметить/продлить ось»**, **«План» — «Создать ось из примитива»** и **«Мастера верха земляного полотна»**.

Таблица 2. Программные продукты моделирования динамических габаритов и маневрирования при проезде кольцевых пересечений

Программный продукт	Основные функциональные возможности программного продукта	Разработчик, контактная информация	Требуемая платформа
AutoTURN	— моделирование движения и маневрирования транспортных средств со скоростями до 60 км/час; — трёхмерное движение по 3D-поверхности; — возможность локализации под различные транспортные средства; — графическое представление динамических габаритов с указанием траекторий: внешних и внутренних колёс, характерных точек кузова; — генерация угловых траекторий; — генерация траектории пути по дуге; — создание «шаблонов» разворота транспортных средств.	Transoft Solutions Inc. E-mail: alr@transoftsolutions.com www.transoftsolutions.com	Autodesk 2007-2014, Microstation V 8.1, V8.5, V8XM, V8i
IndorCAD 9	— графическое представление динамических габаритов; — возможность выбора разных моделей транспортных средств; — возможность редактирования параметров транспортных средств; — анализ траектории движения.	ООО «ИндорСофт» (г. Томск) E-mail: support@indorsoft.ru www.indorsoft.ru	*(внешняя платформа не требуется)*
Vehicle Tracking	— трёхмерное движение по 3D-поверхности; — библиотека разных типов модели; — возможность редактирования параметров транспортных средств; — возможность применения анимации у нескольких транспортных средств одновременно; — видимость; — автоматическое моделирование парковочных мест; — моделирование движения и маневрирования транспортных средств с учётом скорости.	Autodesk www.autodesk.com/education/free-software/vehicle-tracking	Autodesk 2013-2014
MS Turn	— моделирование поворота транспортных средств с учётом скорости; — возможность выбора типа транспортного средства; — возможность редактирования параметров автомобилей; — визуальный отчёт расположения угла колеса и элементов.	Glamsen E-mail: ars.karlsson@glamsen.se www.glamsen.se/MSTurn.htm	Microstation V 8.
CadTools (ToolBox)	— трёхмерное движение по 3D-поверхности; — моделирование поворота транспортных средств с учётом скорости; — возможность выбора типа транспортного средства; — возможность редактирования параметров автомобилей; — визуальный отчёт расположения угла колеса и элементов.	Glamsen E-mail: ars.karlsson@glamsen.se www.glamsen.se/MSTurn.htm	Autodesk 2001-2014
BricsTurn	— моделирование поворота транспортных средств с учётом скорости; — возможность выбора типа транспортного средства; — возможность редактирования параметров автомобилей; — визуальный отчёт расположения угла колеса и элементов.	Glamsen E-mail: ars.karlsson@glamsen.se www.glamsen.se/BricsTurn.htm	Bricscad V10
AutoTrack	— включает полную функциональность модулей развязки, парковки и шаблона; — возможность редактирования параметров автомобилей; — учёт виража; — учёт сцепления; — отображение угла поворота колеса; — отображение угла расположения прицепа.	Savoy Computing Services Limited E-mail: sales@SavoyComputing.com www.savoycomputing.com	Microstation 95 - XM
GeoniCS Траектории движения (Autopath)	— интеллектуальная технология поворота; — динамическое изменение траектории; — вертикальный просвет (клиренс); — настраиваемая библиотека транспортных средств; — графические результаты анализа; — расчёт угла сочленения между транспортным средством и прицепом; — учёт скорости движения; — учёт сцепления колёс с покрытием.	CSoft E-mail: sales@csoft.ru www.csoft.ru	AutoCAD 2010-2013
Autopath	— моделирование движения и маневрирования транспортных средств с учётом скорости; — возможность выбора типа транспортных средств.	CGS plus LLC E-mail:info.usa @ cgsplus.com www.cgsplus.com	Autodesk 2010-2014, Bricscad V12, 13

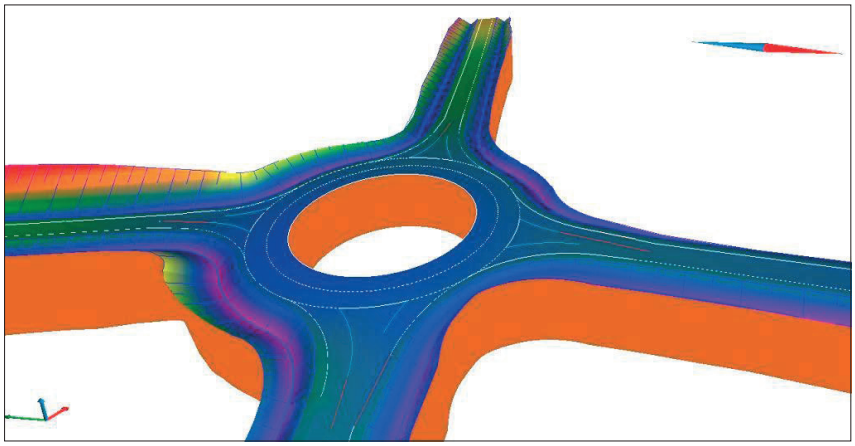

Рис. 19. Комплексная проектная поверхность кольцевого пересечения

лью их выноса в натуру при помощи автоматической 3D-системы управления строительной техникой.

Объёмы работ считаются раздельно по составляющим подобъектам, а затем могут быть суммированы в итоговые ведомости по кольцевому пересечению в целом. Топоматик Robur выполняет подсчёт планировочных, укрепительных, земляных работ, а также объёмов конструктивных слоёв дорожной одежды. При реконструкции или ремонте кольцевого пересечения возможны учёт существующей конструкции и построение картограммы выравнивания покрытия.

Комплекс Топоматик Robur позволяет нанести элементы обустройства на запроектированную поверхность кольцевого пересечения. Дорожную разметку проектировщик назначает по автоматически генерируемым линиям и специально создаваемым контурам. Расстановка дорожных знаков производится с использованием специальной библиотеки. По элементам обустройства генерируются ведомости объёмов и работ.

Основным документом проекта кольцевого пересечения является чертёж плана с отметками. Базовая часть чертежа Топоматик Robur создаётся автоматически по проектной поверхности. Наряду с этим, проектировщику предоставляется набор средств для нанесения отметок, подписей, размеров и других элементов оформления чертежей.

При необходимости могут быть созданы чертежи продольного и поперечных профилей как по центральному (кольцевому), так и по сопрягающим подобъектам.

Финальная стадия процесса проектирования — это создание реалистичной трёхмерной сцены кольцевого пересечения, её динамический просмотр и запись анимационного ролика. Топоматик Robur позволяет визуализировать 3D-модель проектной поверхности, элементы обустройства и ситуации.

Моделирование проезда кольцевых пересечений

Моделирование динамических габаритов проезда кольцевых пересечений при оценке планировочных решений обычно выполняют с использованием программных продуктов, приведённых в таблице 2.

Использование САПР при реализации положений разработанных методических рекомендаций в практике проектирования кольцевых пересечений позволит повысить качество проектных решений автомобильных дорог.

Дальнейшие работы по совершенствованию методического обеспечения автоматизированного проектирования кольцевых пересечений будут направлены на разработку библиотеки элементов планировки кольцевых пересечений.

Литература:

1. Современные кольцевые пресечения. Иркутск: Транспортная лаборатория ИрГТУ, 2009. 103 с.
2. Поспелов П.И., Щит Б.А. Повышение транспортно-эксплуатационных качеств пересечений на улично-дорожной сети населённых мест // Инженерные сооружения: профессиональный журнал ОАО «Мосинжпроект». Февраль 2014. №1(3). С. 60–74.
3. Weber P. Planning for Roundabouts Presented at the Professional Development Conference Canadian Association of Certified Planning Technicians Waterloo. October 24, 2008.
4. Roundabouts. Road planning and design manual // Australia : Department of Main Roads, 2006. Chapter 14. P. 101.
5. Facilities Development Manual // Wisconsin Department of Transportation. February 25, 2011. Chapter 11 Design. Section 26 Roundabouts. P. 79.
6. Quantitatively Determining the Emissions Reduction Benefits of the Replacement of a Signalized Intersection by a Roundabout Emissions // Hesch M., Academy of Holy Names. 2007.
7. Traffic Management and Noise Reducing Pavements. Recommendations on Additional Noise Reducing Measures // Silvia Project Deliverable. SILVIA-DTF-DRI-008-11-WP5-020205. Ministry of Transport. Denmark, 2005, P. 90.
8. Поспелов П.И., Шевяков А.П., Щит Б.А. Методическое обеспечение проектирования кольцевых пересечений // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2013. №1. С. 101–111.
9. Policy on Geometric Design of Highways and Streets (Green book) // AASHTO Washington, D.C. 2004. 942 pp.
10. Stopping Sight Distance and Decision Sight Distance // Discussion Paper No. 8.A Oregon Department of Transportation. The Kiewit Center for Infrastructure and Transportation Oregon State University. September 2004. P. 27.
11. Поспелов П.И., Шевяков А.П., Щит Б.А. Планировка ромбовидных пересечений автомобильных дорог в разных уровнях // Наука и техника в дорожной отрасли. 2013. №3(66). С. 11–13.