УДК 625.7 DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2019.86.2.173

ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМ ЭФФЕКТИВНОСТИ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ ОБЪЕКТОВ АВТОТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Величко Г. В.
«Кредо-Диалог», г. Минск

Аннотация. *В статье рассмотрена концепция «сквозной» BIM-технологии жизненного цикла объектов транспортной инфраструктуры и её текущие проблемы, цели новых положений парадигмы информационного моделирования объектов автотранспортной инфраструктуры, примеры практической реализации новых положений парадигмы при геометрическом проектировании объектов автотранспортной инфраструктуры.*

Ключевые слова: *BIM-технологии, CAD-системы, GIS-системы, транспортная инфраструктура, информационное моделирование объектов.*

Введение

Необходимость перехода в новый цифровой формат практически всех процессов создания и эксплуатации объектов автотранспортной инфраструктуры вполне очевидна и официально признана в большинстве индустриально развитых стан мира. При обсуждении этой темы в профессиональных СМИ этих стран употребляется термин BIM. В достаточно широком смысле эта англоязычная аббревиатура подразумевает компьютерные технологии информационного моделирования зданий и сооружений, применяемых на этапах их изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации. Концепция BIM-технологий создания объектов автотранспортной инфраструктуры предусматривает решение задач каждого из этапов их жизненного цикла с применением различных программно-технических комплексов (рис. 1, а).

Анализ публикаций

Декларируемые разработчиками BIM-технологий перспективы своевременного выявления и исключения разнообразных коллизий и, соответственно, сокращения сроков и стоимости работ на каждом из этих этапов дублируются в преамбуле многих распоряжений о внедрении BIM. Для их реализации создано уже много версий разнообразных дорожных карт и новых стандартов. Однако даже в области проектирования и строительства типовых объектов коммунального хозяйства этот процесс продвигается очень медленно.

Интеграция потенциала функциональных возможностей зарубежных и отечественных систем информационного моделирования объектов автотранспортной инфраструктуры в т.н. «сквозной» технологии создания и использования их единой информационной модели также пока ещё достаточно проблематична.

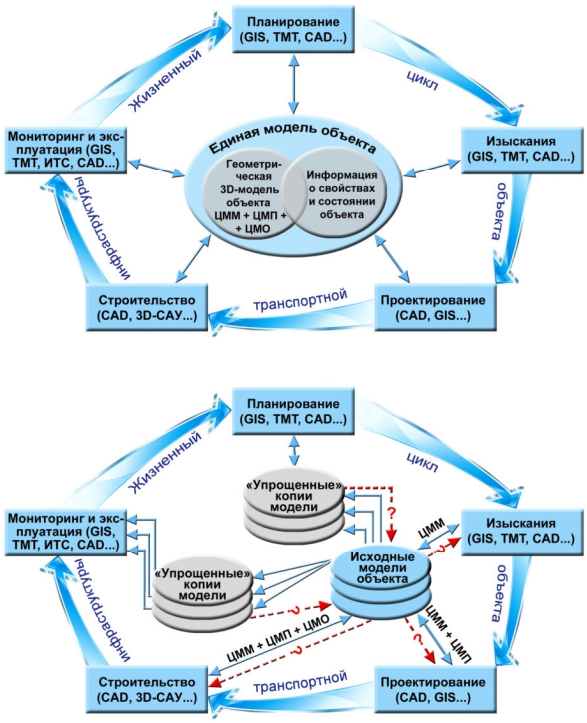


Рис. 1. Концепция «сквозной» BIM-технологии жизненного цикла объектов транспортной инфраструктуры (а) и её текущие проблемы (б)

Цель и постановка задачи

Одна из существенных причин этой проблемы кроется в исторически сложившемся развитии их программного обеспечения на разных платформах. Поэтому их разработчи-

ки стремятся хотя бы формально решить все задачи BIM каждого из этапов жизненного цикла объекта автотранспортной инфраструктуры. Из-за большого разнообразия и сложности этих задач достаточно часто страдает качество и сроки их решения. При этом пользователь, попадающий в зависимость от одного разработчика и его версии BIM-технологии, сталкивается с существенными проблемами применения более эффективных в тех или иных случаях альтернативных методов решения стоящих перед ним задач.

В настоящее время известные примеры непрерывных фрагментов BIM-технологий работают с единой моделью объекта только на платформе одного производителя. Поэтому решение проблемы использования необходимого или более эффективного функционала платформ других производителей сопряжено с рутинными процессами конвертации данных или пересборки модели по их правилам. Это приводит к потере важной информации или к её дроблению на элементарные составляющие, что исключает возможность изменения проектных решений эффективными для них методами (см. рис. 1, б). В результате роста числа «копий» исходных моделей и затрат на поддержку их актуальности на протяжении жизненного цикла объекта автотранспортной инфраструктуры снижается эффективность управления им.

Достаточно часто иллюзия целостности информационной модели возникает из-за визуально неразличимых нюансов в её 2D или 3D-отображении программами разных производителей (рис. 2). Однако именно они существенно сказываются на возможностях текущей и последующей работы с ней.

Существенные проблемы организации непрерывной работы комплексных BIM-технологий возникают и из-за различий в геометрических элементах, концепциях и методах моделирования объектов автотранспортной инфраструктуры, которые положены в основу математического обеспечения алгоритмов и программ разных производителей. Эти проблемы усугубляют тенденции к расширению перечня тех трансцендентных геометрических элементов 2D-полилиний трасс автомобильных дорог, которыми моделируют переходные кривые постоянной и переменной скорости движения. На это указывает перечень обсуждаемых и применяемых в ряде случаев их типов, включающий клотоиды, коробовые кривые, кубические параболы, кадиоиды, поликлотоиды, кривые семейства ПЕРС, сплайны и т.д.

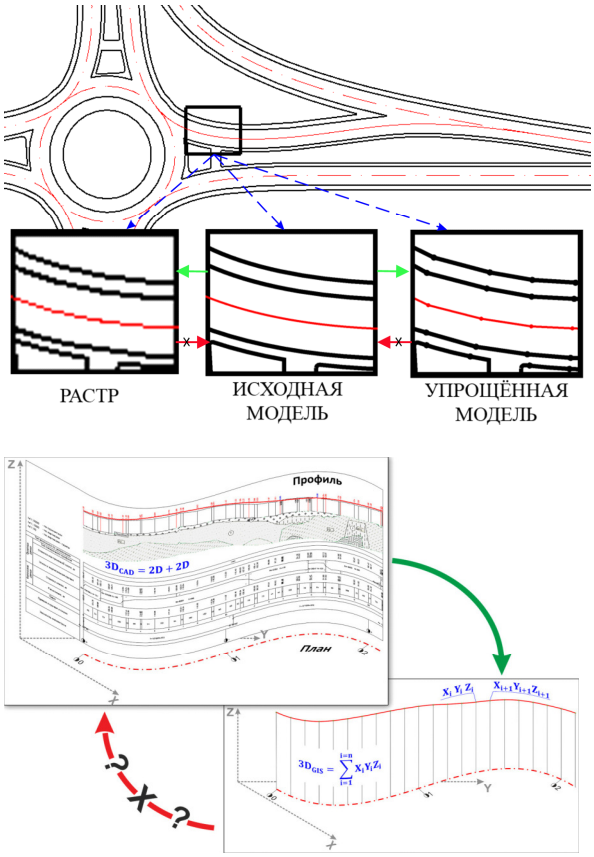


Рис. 2. Суть различий в представлении 2D и 3D-моделей осей объекта в специализированных и в универсальных CAD или GIS-системах

Даная ситуация явно указывает на давно уже назревшую необходимость унификации элементной базы геометрического проектирования трасс объектов транспортной инфраструктуры. Сокращение имеющегося многообразия альтернатив до необходимого и достаточного уровня облегчит процесс интеграции уже существующих фрагментов BIM-технологий.

Это также позволит раскрыть ту часть их потенциала, которая скована рядом стереотипов всё ещё доминирующих парадигм. Они были сформированы достаточно давно и, естественно, не могли учитывать немыслимые для того времени возможности современных информационных технологий. Но до сих пор они определяют требования к методам и к результатам решения прикладных задач информационного моделирования объектов автотранспортной инфраструктуры по нормам и правилам практически вековой давности. Без смены положений парадигм

«ручного» проектирования итоговое качество объектов автотранспортной инфраструктуры, создаваемых даже с применением полноценных, останется практически таким же, как и ранее. Для эффективного использования всё возрастающего потенциала BIM-технологий необходим пересмотр целей, критериев, методов и новых средств повышения качества объектов автотранспортной инфраструктуры.

Цели новых положений парадигмы информационного моделирования объектов автотранспортной инфраструктуры

Во всех развитых странах мира приоритеты развития объектов автотранспортной инфраструктуры обусловлены рядом ключевых принципов, определяющих преобладание цели сохранения здоровья и жизни человека над интересами мобильности и другими целями автотранспортных систем. Основным условием её достижения является учёт того, что человеку свойственно ошибаться. Поэтому современные автотранспортные системы создаются таким образом, чтобы минимизировать вероятность этих ошибок и их последствий для всех участников движения. При этом ответственность за безопасность конструкции, функционирования и использования дорожно-транспортной системы возлагается на её создателей. А за соблюдения правил пользования отвечают пользователи. Если же они по незнанию, по ошибке или в силу физических данных их не соблюдают, то ответственность возвращается к создателям системы.

Эти и другие принципы учёта т.н. человеческого фактора определили основные тенденции к совершенствованию норм и правил создания объектов автотранспортной инфраструктуры. В странах Западной Европы и Северной Америки они позволили существенно повысить безопасность автомобильных дорог и снизить аварийность движения. Важная роль в этом процессе отводится пониманию того, что формальное соблюдение требований норм не может обеспечить абсолютную безопасность, поэтому под различными аспектами безопасности объектов автотранспортной инфраструктуры подразумевается отсутствие недопустимого риска жизни и здоровью участников движения при условии их правильного и возможного предсказуемого неправильного пользования.

В отличие от этого приоритетные цели создания отечественных объектов автотранспортной инфраструктуры до сих пор остаются такими же, какими они были ещё в начале развития народного хозяйства бывшего СССР. Несложно убедиться, что современные нормы, правила и методы геометрического проектирования дорог ни концептуально, ни в большом числе случаев и по содержанию практически ничём не отличаются от Технических условий, которые были изданы ГУШОСДОР НКВД СССР в 1938–1939 г. Попытку учёта в них человеческого фактора символизирует раздел «Ландшафтное проектирование», появившийся в 60-х годах прошлого века. Но его положения практически никак не изменили сути отечественной практики проектирования дорог. Как и прежде она заключается в простоте и минимальной сметной стоимости проекта при формальном соблюдении минимальных требований норм.

Примеры практической реализации новых положений парадигмы при геометрическом проектировании объектов автотранспортной инфраструктуры

Такое отношение к сути прогрессивных требований раздела «Ландшафтное проектирование» как к второстепенным и зачастую игнорируемым во многом обусловлено также сложностью их реализации из-за отсутствия необходимых для этого решений. Так, например, логически верными являются суждения его авторов о необходимости конструирования клотоидных трасс, в которых элементы с переменной кривизной обретают самостоятельную, а не вспомогательную для отгона виража функцию, поскольку они не могут быть осуществлены именно с клотоидами. Для достижения истинных целей клотоидного трассирования нужны не клотоиды, а другие типы кривых. Как и прежде, они могут считаться переходными, однако в определение этого термина должна быть внесена необходимая ясность.

Существующая неопределённость термина «переходная кривая» как геометрического элемента с переменной кривизной создаёт предпосылки её реализации любой кривой, отличной от окружности. Помимо весьма вероятного их несоответствия функциональным особенностям объектов автотранспортной инфраструктуры, обилие альтернатив переходных кривых усугубляет означенные выше проблемы эффективного использова-

ния BIM-технологий с программами платформ различных производителей. Для их устранения необходима унификация уже имеющихся или их новых альтернатив. При этом необходимо исходить из тех их определений и требований, которые соответствуют функциональным особенностям объектов автотранспортной инфраструктуры.

С учётом этого под переходной кривой следует подразумевать фрагмент расчётной траектории движения автомобиля с монотонно возрастающей (или убывающей) кривизной, который G2 гладко сопряжён с её смежными участками. При этом её кривизна и длина должны быть обоснованы из условий безопасного и удобного изменения режимов движения, а также зрительного ориентирования и своевременного информирования водителей автомобиля о тенденции развития трассы даже в условиях её ограниченной видимости.

Наиболее распространённым видом несоблюдения правил пользования объектами автотранспортной инфраструктуры является превышение водителями той скорости, которая на текущий момент времени безопасна в тех или иных условиях движения. Из-за их непостоянства она также переменна. Её зависимость от множества не всегда известных или трудно прогнозируемых водителями факторов существенно повышает вероятность допускаемых ими ошибок. Так, например, при движении по загородной дороге IV или V категории со скоростью 90 км/ч даже очень дисциплинированный водитель может не знать, что её геометрические параметры рассчитаны для движения в благоприятных погодных условиях с гораздо меньшей скоростью.

Поэтому безопасность движения на критических участках трасс даже с нормативной, но резко отличающейся от смежных участков кривизной следует обеспечивать за счёт заблаговременного и очень плавного «усложнения» условий движения на подходах к ним. Практикуемый в зарубежных странах способ реализации этих мер связан с существенным развитием трассы на подходах к её участкам с максимальной кривизной.

При этом радиусы кривизны смежных с ним клотоидных закруглений назначаются в соответствии с диаграммой, представленной на рис. 3. Их непрерывная последовательность создаёт условия, при которых постепенно возрастающая кривизна трассы заблаговременно принуждает водителей снижать скорость движения ещё на подходах к её самым опасным участкам.

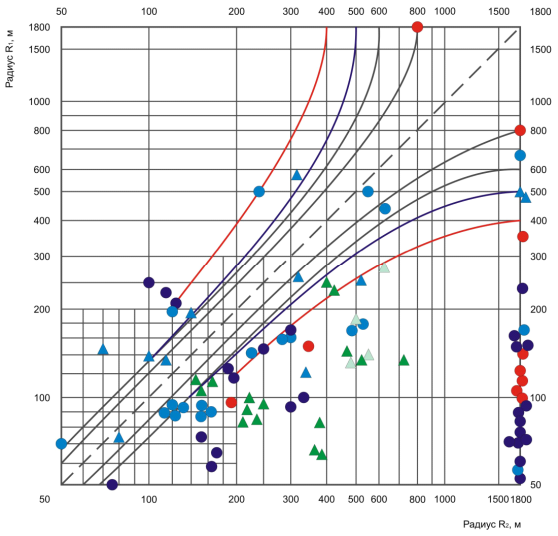


Рис. 3. Виды и количество ДТП на участках дорог Германии с различным соотношением радиусов кривизны R1:R2 смежных закруглений [1]

Несмотря на очевидную эффективность этих норм и методов т.н. «соотносительного» трассирования они далеко не всегда и не везде могут быть осуществимы. На отечественных дорогах водитель достаточно часто может столкнуться с весьма опасной ситуацией, которая схематически представлена на рис. 4.

Вполне очевидно, что при высоком качестве покрытия длинный прямой участок дороги будет провоцировать водителей на выбор скорости движения, которая не является безопасной для закругления, находящегося в его конце. В результате этого он будет вынужден резко её снижать на переходной кривой, предшествующей его круговой части.

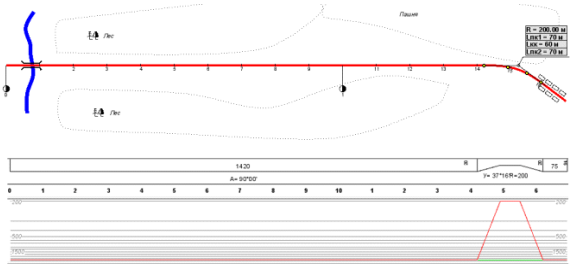


Рис. 4. Недопустимое по нормам ЕС сочетание длинной прямой с закруглением трассы малого радиуса

Однако устранение или уменьшение связанных с этим рисков ДТП методом «соотно-

сительного» трассирования приведёт к существенному развитию трассы данного участка дороги (рис. 5).

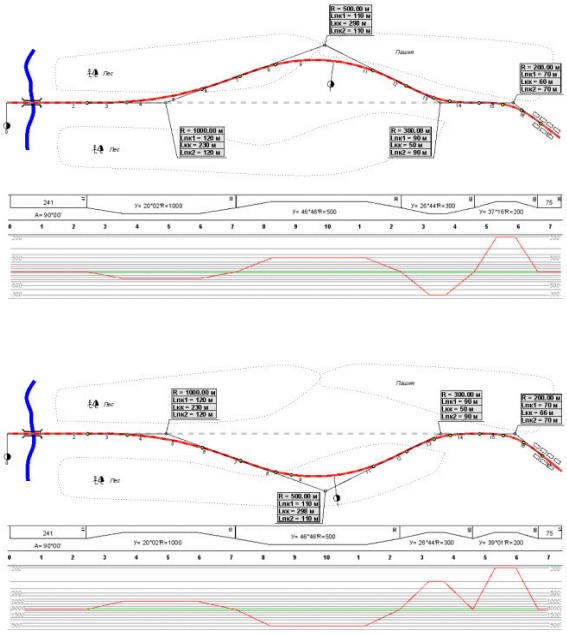


Рис. 5. Варианты уменьшения риска ДТП методами «соотносительного» трассирования по нормам стран ЕС [2, 3]

Особую сложность представляют транспортные развязки, на которых такое же безопасное воздействие кривизны её элементов на режимы движения с переменной скоростью является непременным условием обеспечения их высокой эффективности. В этих случаях традиционная клотоида практически не является пригодной для реализации ни первой, ни второй функции переходной кривой. В основном из-за её самой короткой длины и линейной закономерности кривизны. По определению она не может быть согласована с переменной скоростью движения и не может обеспечить его безопасность.

На это указывают результаты сопоставления графика равномерно изменяющейся скорости и безопасных для неё нормативных радиусов кривизны $R_{норм}$ с фактическими радиусами кривизны клотоиды $R_{клот}$ (рис 6, а). Аналогичный вывод следует и из сравнения фактических $\mu_{клот}$ и нормативных $\mu_{норм}$ коэффициентов поперечных сил, действующих на автомобиль, который движется по клотоидной переходной кривой с переменной скоростью (рис. 6, б).

Графики на рис. 6 соответствуют данным правоповоротного съезда реального проекта транспортной развязки со следующими параметрами:

– длина клотоидной переходной кривой L = 300 м;

– радиус кривизны кругового участка съезда R = 150 м;

– начальная скорость движения автомобилей V_0 = 120 км/ч;

– скорость движения автомобилей на круговой кривой $V_к$ = 60 км/ч;

– расчётное замедление d = - 1.4 м/с^2;

– уклон виража i = 40 ‰

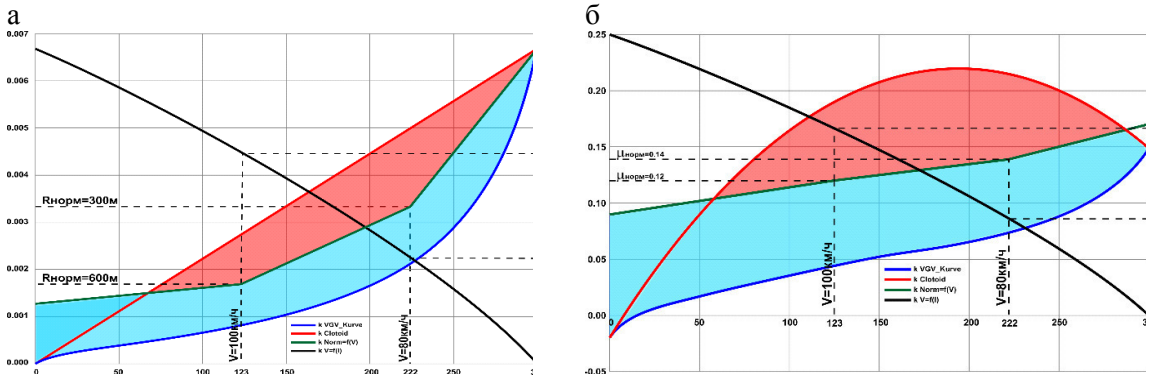


Рис. 6. Необеспеченная безопасность движения с переменной скоростью на клотоидной переходной кривой: а – по критерию её кривизны; б – по коэффициенту поперечной силы

Риск потери устойчивого движения автомобиля в выделенной красным цветом зоне усугубляется ещё не отогнанным уклоном виража и весьма вероятным наличием отрицательного продольного уклона i (см. рис. 7).

В результате этого якобы соответствующее действующим нормам решение создаёт для водителей практически безвыходную ситуацию. При их въезде на съезд с расчётной скоростью 120 км/ч любой из имеющих-

ся вариантов снижения скорости с большим или с меньшим замедлением повышает риск потери устойчивости движения автомобиля на клотоидном или на следующем за ним круговом участке траектории.

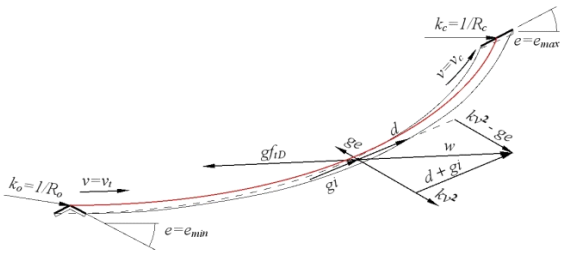


Рис. 7. Кинематика расчётной точки контакта колеса автомобиля с поверхностью проезжей части дороги

Исходя из представленной на рис. 7 кинематики расчётной точки автомобиля, эти риски должна исключить переходная кривая, при движении по которой с постоянной или с переменной скоростью закономерность её кривизны не приведёт к превышению нормативных значений коэффициентов поперечной силы $\mu_{норм}= f(V)$ или аналогичных им расчётных значений коэффициентов сцепления $\varphi_{норм}= f(V)$. Этим условиям соответствует кривизна переходной кривой переменной скорости движения *VGV_Kurve*. На это указывают представленные на рис. 4 эпюры радиусов её кривизны R_{VGV} и соответствующие им коэффициенты поперечных сил μ_{VGV}. При этом существует ещё и резерв, который может обеспечить устойчивость криволинейного движения автомобиля при весьма вероятных отклонениях начальной скорости движения и интенсивности её изменения от предусмотренных проектом.

На рис. 4 области этого резерва кривизны и коэффициентов поперечной силы обозначены голубым цветом.

Исходя из наличия этих свойств, кривые *VGV_Kurve* были применены в этом проекте на всех криволинейных участках развязки с переменной скоростью движения автомобилей. Клотоиды были применены только на тех участках, на которых наиболее вероятно и целесообразно движение с постоянной скоростью. Места применения каждого из этих типов переходных кривых в проекте её конструкции, а также их расчётные параметры показаны на рис. 8 и в табл. 1.

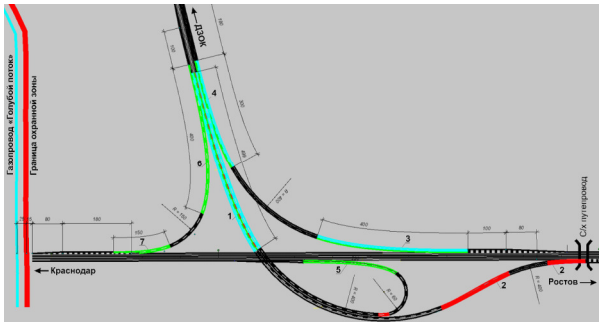


Рис. 8. План развязки с участками переменной и постоянной скорости движения

Из всего перечня известных решений переходных кривых переменной скорости только в формуле кривизны *VGV_Kurve* предусмотрен учёт приведенных в табл. 1 расчётных параметров.

Таблица 1 – Расчётные параметры переходных кривых транспортной развязки

Номер участка	Тип переходной кривой	Геометрические и эксплуатационные параметры переходной кривой							
		Длина L, м	Радиус R, м		Скорость V, м/с		Ускорение a, м/с^2	Удобство C, м/с^3	Поперечная сила μ_{max}
			от	до	от	до			
1	*VGV_Kurve*	500	∞	400	120	90	-0.5	0,35	0.12<0.13
2	*Clothoid*	100	400	∞	90	90	0	0,4	0.12<0.13
3	*VGV_Kurve*	400	∞	400	120	90	-0,6	0,3	0.12<0.13
4	*VGV_Kurve*	300	400	∞	90	120	+0.8	0,3	0.12<0.13
5	*VGV_Kurve*	400	∞	150	120	60	-1,0	0,3	0.15<0.17
6	*VGV_Kurve*	150	150	∞	60	100	+1,5	0,2	0.15<0.17
7	*VGV_Kurve*	250	∞	60	120	40	-1,5	0.8	0.17<0.23
8	*Clothoid*	30	60	400	40	40	0	0.4	0.17<0.23

Наряду с длиной L, начальным R_0, конечным R_K радиусом и уклоном виража E её кривизна $k(l)$ и прямоугольные координаты x, y определяются с учётом начальной V_0 и конечной V_K скорости, расчётного замедления $\pm a$ и требуемого удобства движения, оцениваемого по максимальной скорости нарастания центробежного ускорения C (рис. 9).

В то же время традиционный метод их «дробления» на элементарные отрезки усложнял процесс коллективного решения многих других задач информационного моделирования всего объекта в целом. Частично эту проблему удавалось решать за счёт применения *VGV_Spline* для эмуляции кривых переменной скорости *VGV_Kurve*. Основным назначением этого сплайна является «копирование» функций других кривых с требуемой точностью и с контролем параметров тех свойств, которые важны для различных аспектов его применения в инженерных целях.

Пример решения проблемы интеграции решений платформ различных производителей

Совместной работе над проектом этого объекта со службами заказчика существенно препятствовало различие платформ используемых программ. Как правило, в их математическом обеспечении поддержка новых геометрических элементов не предусмотрена.

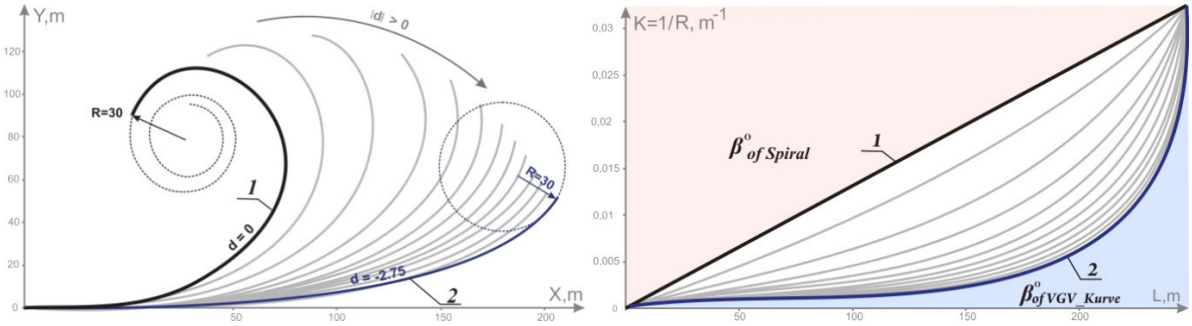


Рис. 9. Зависимость координат (1) и кривизны (2) *VGV_Kurve* от расчётной величины замедления или ускорения автомобиля *a*

Так, например, *VGV_Spline* позволяет устанавливать те же координаты, касательные и кривизну, которые имеют точки начала и конца эмулируемой ею кривой или её фрагмента. В целях сохранения G^2-го порядка сопряжения смежных элементов они должны оставаться неизменными при дальнейшем редактировании его формы (рис. 10).

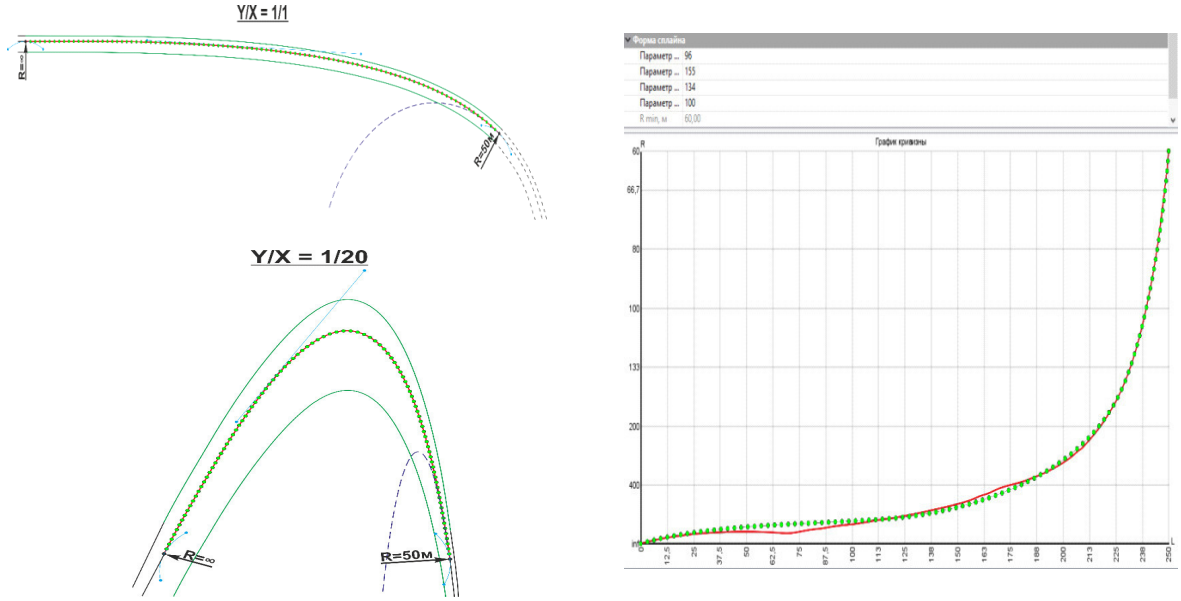


Рис. 10. Приближение *VGV_Spline* координат и кривизны кривой переменной скорости *VGV_Kurve* на петле ЛПС с R = 50 м и L = 250 м

При этом методы редактирования формы VGV_Spline позволяют «копировать» очертания эмулируемых кривых с контролем требуемого в том или ином случае предельного темпа изменения кривизны dk/dl, а также максимума её положительных и/или отрицательных значений. После достижения требуемой точности эмуляции VGV_Spline передавались в программы на других платформах в виде поддерживаемых на всех платформах кубических B Spline или Beizer Spline.

Эти меры обеспечивали передачу достаточно точной математической модели каждого варианта горизонтальной планировки развязки с одной программной платформы на другую. Но при этом её полноценное редактирование оставалось возможным только на платформе с математической поддержкой кривых переменной скорости VGV_Kurve и VGV_Spline. Это существенно усложняло объективно необходимую проработку большого числа вариантов (рис. 11) данного проекта, ведь в каждом из них необходимо было с помощью VGV_Spline приближать геометрию осей полос движения, а также кромок и бровок каждого из 8-ми его нелинейных фрагментов. Аналогичные проблемы приходилось решать и при проектировании автомобильной дороги с кривыми VGV_Kurve, составившими большую часть из 14 км её протяжённости [4, 6].

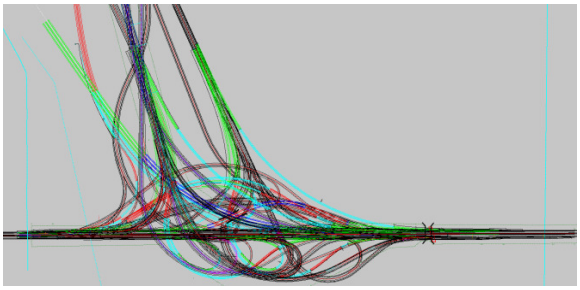
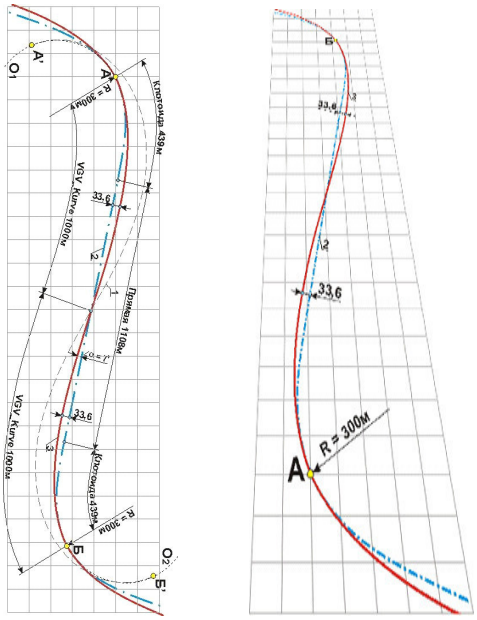


Рис. 11. Альтернативные варианты развязки, рассмотренные в процессе выбора и обоснования её окончательного проекта

Пример альтернативного метода снижения рисков ДТП при трассировании дороги с кривыми переменной скорости VGV_Kurve

Изложенные ранее особенности практической реализации принципов «соотносительного» трассирования препятствовали их реализации в проекте этой дороги в заданных ограничениях. Представленный на рис. 12 пример показывает, что достижение такого же снижения риска ДТП, как и у «соотносительных» трасс с клотоидами, также не представлялось возможным. Для исключения прямолинейного участка трассы между смежными кривыми и, соответственно, снижения риска превышения скорости на нём требуются клотоиды очень большой длины (см. трассу 1 на рис. 12). Однако углы их дуг существенно превышают допустимые пределы. А при их длине с допустимыми углами длина прямой вставки между смежными кривыми крайне нежелательно возрастает до 1 км и более (см. трассу 2 на рис. 12).



1. Неосуществимое сопряжение клотоидами без прямой вставки
2. Сопряжение клотоидами L_{max} = 439 м и прямой вставкой L = 1108 м
Сопряжение *VGV_Kurve* L = 2 × 1000 м без прямой вставки

Рис. 12. Пример устранения прямой вставки между смежными кривыми малых радиусов с применением клотоид и кривых VGV_Kurve

Для решения этой проблемы нужны геометрические элементы с безопасной для движения автомобилей кривизной и с гораздо меньшими углами их дуг, чем у клотоид. Этим требованиям соответствует кривая переменной скорости VGV_Kurve, т.к. при постоянной и соответствующей максимальной кривизне закругления скорости, а также при равномерно снижающейся до её уровня переменной скорости условия устойчивого движения автомобиля будут надёжно обеспечены. При этом угол её дуги может быть в разы меньше, чем угол дуги аналогичной по длине и максимальной кривизне клотоиды

(см. рис. 9, б). Благодаря этим свойствам также же положительный эффект «соотносительных» трасс (см. рис. 5) может быть достигнут при гораздо меньшем развитии трассы (рис. 13).

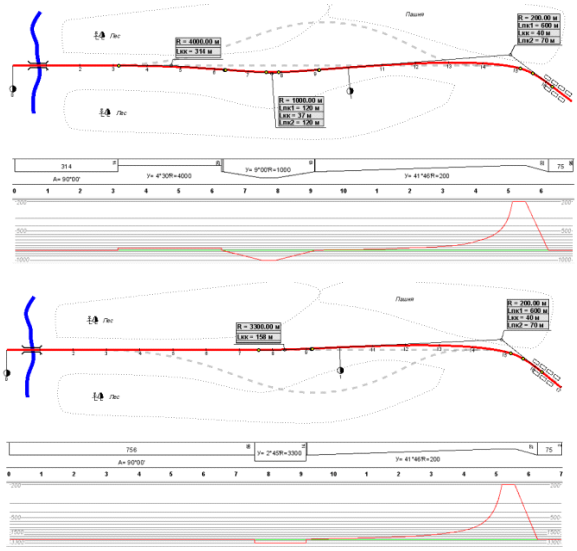


Рис. 13. Варианты альтернативного достижения целей «соотносительного» трассирования с кривыми VGV_Kurve

Конструирование закруглений трасс с кривыми переменной скорости VGV_Kurve позволяет существенно изменить соотношение длин их прямолинейных участков к криволинейным. Это позволяет снижать риски ДТП, обусловленные как монотонностью условий прямолинейного движения, так и необходимостью резкого, а иногда и неожиданного их изменения на криволинейных участках трассы. Непрерывно криволинейная трасса дороги с теоретически обоснованными характеристиками кинематики расчётной точки контакта колеса автомобиля с поверхностью её проезжей части способствует также улучшению зрительного восприятия условий движения и прогнозу их изменения даже при их ограниченной видимости. Так, например, прогноз скорости движения и расстояния до встречного автомобиля на непрерывно криволинейном участке дороги (рис. 14) будет более точен, чем на прямолинейном. Ночью этому будет способствовать также минимальное время негативного воздействия света его фар.

Эффективность этих свойств непрерывно криволинейной трассы подтверждают результаты пятилетнего мониторинга безопасности движения на дороге, построенной с кривыми VGV_Kurve. Они показывают, что она существенно безопаснее, чем другие дороги в этом же регионе [5]. Гармоничное сочетание элементов её плана и продольного профиля обеспечило идеальную пространственную плавность и согласованность с ландшафтом прилегающей местности. Наличие этих качеств признано многими экспертами, которые смогли реально или виртуально её оценить (рис. 15).

Рис. 14. Вид дороги с кривыми переменной скорости VGV_Kurve

При этом традиционное для отечественных дорог соотношение длин прямых и кривых плана трассы > 20:1 на данной дороге составило 1:20.

Рис. 15. Кадр из видеосъемки проезда по «самопоясняющей» дороге [7]

Достижению этого результата способствовала также особая геометрия непрерывно G2-гладкой и плавной линии её продольного профиля. Его геометрическая модель была составлена из трёх десятков VGV_Spline. Их непрерывно выпуклые и вогнутые участки с переменной кривизной были максимально приближены к линии руководящих отметок с учётом заданных геометрических ограничений и соблюдения правил их сочетания с такой же G2-гладкой и плавной линией плана трассы. В программы на других платформах, включая и бортовые системы 3D САУ дорожно-строительных машин, они также передавались в виде кубических B Spline или Beizer Spline.

Приоритетныеми являются задачи совершенствования положений действующей парадигмы геометрического проектирования объектов автотранспортной инфраструктуры.

Теоретическая обоснованность и положительный опыт практического применения этих и других решений создаёт все условия для замены ряда тех положений действующих парадигм, которые либо препятствуют повышению качества объектов автотранспортной инфраструктуры, либо не соответствуют тому его уровню, который может быть достигнут с учётом и применением потенциала BIM-технологий их изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации. Уже на текущем уровне их развития он позволяет существенно изменить к лучшему нормы и методы конструирования объектов автотранспортной инфраструктуры. Для этого необходимо:

– пересмотреть и формализовать цели, критерии и методы их достижения с учётом не только законов физики, но и т.н. человеческого фактора;

– установить расчётные значения основных факторов безопасности и удобства движения, при которых риски для жизни и здоровья участников движения могут считаться допустимыми при условии правильного и возможного предсказуемого неправильного пользования объектом автотранспортной инфраструктуры;

– заменить методы усреднённого опосредованного и «табличного» нормирования зависящих от них геометрических и других параметров дороги на более адекватные и теоретически обоснованные аналитические методы;

– унифицировать элементную базу геометрического проектирования автомобильных дорог и транспортных развязок по критерию необходимого и достаточного их перечня и свойств, необходимых для достижения требуемого уровня их качества.

Выводы

Объективно необходимый и давно уже назревший перевод деятельности автотранспортной отрасли страны в новый, цифровой формат связан с необходимостью разрешения множества организационных, юридических, технических и других проблем. Социально и экономически значимый эффект мер, предпринимаемых для их разрешения, во многом зависит от той цели, на которую будет направлен вектор развития прикладной сути технологий информационного моделирования объектов автранспортной инфраструктуры. Эти технологии обладают достаточным потенциалом для достижения более значимых целей, чем цели традиционных технологий с существенно ограниченными возможностями. В переходной период их развития и сосуществования наиболее приемлемым является эволюционный процесс замены старых положений парадигм докомпьютерной эры на новые положения, направленные на достижение более значимых целей с применением информационных технологий.

Неразрывно связанный с этим процесс совершенствования норм и правил изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации объектов автранспортной инфраструктуры повысит спрос на новые научно обоснованные решения для BIM-технологий, а также на квалифицированных прикладных специалистов в области их разработки, внедрения и практического применения. Вполне очевиден также и рост значимости научных исследований и новых программ подготовки специалистов, адаптированных к цифровым форматам их будущей деятельности.

Литература

1. Stefan Matena, BASt, Best Practice on Road Design and Road Environment, Final Conference 27.9.–28.9.2007 in Bergisch Gladbach, 27.09.2007.
2. Richtlinien für die Anlage von Straßen: Linienführung RAS-L, Bundesministerium für Verkehr, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. Bonn, Germany, 1995.
3. Normativa Tecnica Raccolta di Leggi, Decreti, Norme Tecniche. EGGI, Italy, 1992.
4. https://goo.gl/7KAZZj Г. В. Величко, Д. Н. Саркеев, «Трассирование и мониторинг «самопоясняющей» дороги», «Автомобильные дороги», №9 (1018), 2016.
5. Величко Г. В., Саркеев Д. Н. Развязка стереотипов // Автомобильные дороги, 2018, № 11 (1044), с. 92–96.
6. https://www.youtube.com/watch?v=Hwwc6sYeG08 Инновационные технологии информационного моделирования и строительства дорог.
7. https://goo.gl/kym2M2 Дополнительная видео иллюстрация к [4, 5].

References

1. Stefan Matena, BASt, Best Practice on Road Design and Road Environment, Final Conference 27.9.–28.9.2007 in Bergisch Gladbach, 27.09.2007
2. Richtlinien für die Anlage von Straßen: Linienführung RAS-L, Bundesministerium für Verkehr, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. Bonn, Germany, 1995.
3. Normativa Tecnica Raccolta di Leggi, Decreti, Norme Tecniche. EGGI, Italy, 1992.
4. https://goo.gl/7KAZZj H. V. Velychko, D. N. Sarkeev, «Trassyrovanye y monytorynh «samopoiasniaiushchei» dorohy», «Avtomobylnыe dorohy», №9 (1018), 2016

5. Velychko H. V., Sarkeev D. N. Razviazka stereotypov // Avtomobylnыe dorohy, 2018, № 11 (1044), s 92–96.
6. https://www.youtube.com/watch?v=Hwwc6sYeG08 Ynnovatsyonnыe tekhnolohyy ynformatsyonnoho modelyrovanyia y stroytelstva doroh
7. https://goo.gl/kym2M2 Dopolnytelnaia vydeo ylliustratsyia k [4,5].

Величко Геннадий Викторович, к.т.н., главный конструктор компании «Кредо-Диалог», г. Минск, vgvkurve@gmail.com.

Прикладні аспекти проблем ефективності BIM-технологій об'єктів автотранспортної інфраструктури

Анотація. *Необхідність переходу в новий, цифровий формат практично всіх процесів створення та експлуатації об'єктів автотранспортної інфраструктури цілком очевидна й офіційно визнана в більшості індустріально розвинених країн світу. На сьогодні відомі приклади безперервних фрагментів BIM-технологій,які працюють з єдиною моделлю об'єкта тільки на платформі одного виробника. Тому вирішення проблеми використання необхідного або більш ефективного функціонала платформ інших виробників пов'язане з рутинними процесами конвертації даних або переролення моделі за їхніми правилами. Це призводить до втрати важливої інформації або до її подріблення на елементарні складові, що унеможливлює зміни проектних рішень ефективними для них методами. Метою статті є розгляд прикладних аспектів проблем ефективності BIM-технологій об'єктів автотранспортної інфраструктури. Обґрунтовано необхідність переходу діяльності автотранспортної галузі країни в новий цифровий формат, що пов'язано з необхідністю вирішення багатьох організаційних, юридичних, технічних та інших проблем. Нерозривно пов'язаний з цим процес вдосконалення норм і правил досліджень, проектування, будівництва та експлуатації об'єктів автотранспортної інфраструктури підвищить попит на нові науково обґрунтовані рішення для BIM-технологій, а також на кваліфікованих прикладних фахівців в галузі їх розробляння, впровадження та практичного застосування. Цілком очевидним також є і зростання значення наукових досліджень і нових програм з підготовки фахівців, адаптованих до цифрових форматів їх майбутньої діяльності. У статті сформульована мета нових положень парадигми інформаційного моделювання об'єктів автотранспортної інфраструктури, приклади практичної реалізації нових положень парадигми під час геометричного проектування об'єктів автотранспортної інфраструктури. Наведено приклади вирішення проблеми інтеграції рішень платформ різних виробників, а також альтернативного методу зниження ризиків ДТП у випадку трасування дороги з кривими змінної швидкості VGV_Kurve.*

Ключові слова: *BIM-технології, CAD-системи, GIS-системи, транспортна інфраструктура, інформаційне моделювання об'єктів.*

Величко Геннадій Вікторович, к.т.н., головний конструктор компанії «Кредо-Діалог», м. Мінськ, vgvkurve@gmail.com.

Applied aspects of problems with efficiency of BIM technologies of motor transport infrastructure objects

Abstract. Problem. *The need to transfer to a new, digital format of almost all the processes of creating and operating of motor transport infrastructure facilities is quite obvious and officially recognized in most industrially developed countries of the world. Currently, well-known examples of continuous fragments of BIM technologies work with a single object model only on the platform of one manufacturer. Therefore, the solution to the problem of using the necessary or more effective functionality of platforms of other manufacturers is associated with the routine processes of data conversion or model reassembly according to their rules. This leads to the loss of important information or to its fragmentation into elementary components, which excludes the possibility of changing design decisions by methods effective for them.* ***Goal****. The purpose of this article is to consider the applied aspects of the problems of the effectiveness of BIM technologies of motor transport infrastructure facilities.* ***Results****. The necessity of transferring the activities of the country's automotive industry to a new, digital format related to the need to resolve many organizational, legal, technical and other problems is substantiated. The inextricably linked process of improving the norms and rules of research, design, construction and operation of motor transport infrastructure will increase the demand for new, scientifically-based solutions for BIM technologies, as well as for qualified experts in the field of their development, implementation and practical application. The growing importance of scientific research and new training programs adapted to the digital formats of their future activities is also obvious.* ***Originality****. The article formulates the goals of the new provisions of the paradigm of information modeling of motor transport infrastructure objects, examples of the practical implementation of the new provisions of the paradigm in the geometric design of motor transport infrastructure objects.* ***Practical value.*** *Examples of solving the problem of integrating solutions of platforms of various manufacturers and an alternative method of reducing the risks of road accidents when tracing roads with variable speed curves VGV_Kurve are given.*

Key words: *BIM technologies, CAD systems, GIS systems, transport infrastructure, information modeling of objects.*

Gennady Velichko, Ph.D., Chief Designer of Credo-Dialog Company, Minsk, vgvkurve@gmail.com