

Как развивать отечественные технологии информационного моделирования дорог?

DOI: 10.17273/CADGIS.2015.2.2

Величко Г.В., к.т.н., главный конструктор компании «Кредо-Диалог» (г. Минск)

Рассматриваются особенности технологий информационного моделирования дорог (ИМД), обусловленные качественно новыми требованиями к эффективности всех процессов их изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации. В анализе альтернативных вариантов повышения эффективности всего жизненного цикла дорог учитывается накопленный опыт и результаты разработки, внедрения и применения отечественных САПР автомобильных дорог, а также общность целей их применения в существующих технологиях ИМД. Исходя из понимания ИМД, прежде всего, как технологии достижения этих целей, обосновывается актуальность дальнейшего развития программного обеспечения отечественных технологий ИМД для эффективного и качественно-го решения всего спектра задач жизненного цикла, а также необходимость реализации организационно-технических мер, направленных на обеспечение интеграции функциональных возможностей систем разных производителей в работе с едиными информационными моделями дорог.



Дан приказ ему: «На BIM!»

Из большого обилия материалов различных публикаций, конференций и других мероприятий, захлестнувших информационное пространство в ходе переживаемого нами бума BIM'a, далеко не всегда можно прийти к чёткому и однозначному ответу на вопрос, поставленный в названии статьи. Ведь для неожиданно резко возросшего числа новых приверженцев данных технологий даже сама правомерность такой его постановки порой вызывает сомнение. И это можно понять, поскольку из буквальной трактовки плана Минстроя [1] и из вариантов развития его положений в планах Минтранса следует достаточно спорный факт либо отсутствия отечественного прикладного программного обеспечения (ПО), а соответственно, и самих технологий ИМД, либо их непригодности для реализации BIM-технологий. Намеченный этими планами отбор и анализ именно «пилотных» проектов неявно подразумевает некоторую эксклюзивность технологий информационного моделирования, применённых при их разработке, а последующие меры не предусматривают какого-либо анализа и оценки эффективности аналогичного опыта подготовки проектов с применением существующих информационных технологий. В итоге нацеленность этих планов прежде всего на поэтапное **внедрение** информационных технологий по сути игнорирует почти полувековую отечественную историю их разработки, внедрения и массового практического применения¹.

Немного из современной истории отечественных САПР

Наиболее значимые результаты этой истории были достигнуты в течение последних 25 лет благодаря появлению доступных для массового применения персональных компьютеров и новых социально-экономических отношений в обществе. Практически одновременное стечение этих обстоятельств открыло возможности для реализации частной инициативы и творческого потенциала отечественных разработчиков систем автоматизированного проектирования в различных прикладных областях инженерной деятельности, в том числе и для дорожной отрасли. В процессе своего развития принципы построения создаваемых ими систем (САПР АД) отошли от описанной в [3, 4] последовательной стыковки различных технологических линий проектирования труб, мостов, земляного полотна и т.д., считавшихся классическими и неизбежными в то время. Однако цель их создания, состоящая в **повышении качества и технико-экономического уровня результатов проектирования, строительства и эксплуатации отечественных дорог**, осталась неизменной.

¹ Другие ключевые проблемы этих планов, которые по мнению некоторых специалистов определяют их несостоятельность, изложены в статье [2].

Особенностью достижения этих целей при проектировании объектов транспортной инфраструктуры является вариантная проработка концептуальных и детальных проектных решений. Для эффективного достижения этой цели отечественные разработчики САПР АД стремились обеспечить высокую **эффективность труда инженеров**, достигаемую за счёт сокращения трудоёмкости, сроков и себестоимости процессов планирования, проектирования и оптимизации затрат на строительство и эксплуатацию объектов транспортной инфраструктуры. В подавляющем числе проектных организаций России, оснащённых отечественными и зарубежными САПР АД, имеется постоянно развивающийся потенциал практического решения этих задач, который обеспечивается:

- информационной поддержкой и автоматизацией процессов принятия решений как на этапе концептуального, так и на последующих этапах проектирования;
- применением методов вариантного проектирования и оптимизации проектных решений;
- использованием технологий распределения труда и коллективной работы как внутри одной организации, так и с её смежниками;
- автоматизацией подготовки и оформления документации;
- возможностью настройки и организации автоматизированных технологий в зависимости от задач и специфики изысканий, проектирования и строительства объектов транспортной инфраструктуры.

Общей тенденцией развития отечественных САПР, а также основанных на них технологий ИМД являлась собственная реализация или интеграция с различными видами ПО, решающего задачи других этапов жизненного цикла дорог:

- сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных (географических) данных и связанной с ними информации об объектах (функционал ГИС);
- управления строительством и эксплуатацией объекта, а также другими процессами на протяжении всего его жизненного цикла (функционал PLM+PDM-систем), включая управление различными видами информации о нём (функционал EDM, PIM, TDM, TIM и других систем);
- подготовки технологических процессов строительства и ремонта дорог, ориентированных на использование так называемых 3D САУ ДСМ, а также имитации строительства с различной степенью реалистичности, статической или динамической визуализации реализации технологических процессов, «3D-сборки» объекта из соответствующих компонентов (функционал САМ-систем);
- автоматизации инженерных расчётных методов, позволяющих оценить, как поведёт

себя компьютерная модель объекта в реальных условиях эксплуатации, т.е. выявить так называемые коллизии. Они помогают убедиться в работоспособности изделия без привлечения больших затрат времени и средств ещё на стадии концептуального или рабочего проектирования.

Также следует отметить, что в основу современных концепций разработки практически всех отечественных САПР, используемых в реализации технологий ИМД, положен приоритет 3D-модели, а не чертежей. Отсутствие объективного анализа и оценки уровня их BIM-зрелости не даёт основания считать, что они не существуют или не дают какого-либо положительного эффекта. Ведь это никак не согласуется с фактом и опытом их применения в подавляющем числе учебных и производственных организаций дорожной отрасли России и других стран СНГ, систематически освещаемом на многочисленных конференциях и в отраслевых СМИ, например в [5, 6].

Диалог с жертвой отечественного бума BIM'a на стенде софтверной компании: — А у вас есть BIM? — Только что кончился. — А где ещё можно его купить?

С учётом этого становится вполне очевидным, что инициированный правительством процесс составления и обсуждения планов «поэтапного внедрения» [1], особенно в части технологий ИМД, не может быть продуктивным без анализа соответствия их текущего состояния тем актуальным проблемам и задачам дорожной отрасли, которые определены планами её развития на ближайшую перспективу [7]. Результаты такого анализа позволяют обосновать и конкретизировать детализацию положений обсуждаемых планов. Для определения более чёткой направленности этой работы название «план поэтапного развития технологий ИМД» более приемлем, так как есть основания полагать, что существующее название создаст неоднозначное мнение о том, что они действительно направлены на внедрение каких-то абсолютно новых зарубежных технологий и, соответственно,

Также следует отметить, что в основу современных концепций разработки практически всех отечественных САПР, используемых в реализации технологий ИМД, положен приоритет 3D-модели, а не чертежей.

программных продуктов, поддерживающих их.

Возникающее у отечественных специалистов первичное ощущение этой новизны во многом обусловлено новым термином «BIM». Его однозначно точное русскоязычное определение пока ещё не сформировалось. Из материалов многочисленных публикаций о BIM можно сделать вывод, что это, прежде всего, технологии информационного моделирования. Процесс их многолетнего совершенствования условно разбит на «уровни зрелости», границы которых определены его существенными качественными изменениями. В полном согласии с законами диалектики они обусловлены количественными изменениями в показателях производительности и других возможностей большого разнообразия вычислительных устройств, функциональных возможностей и разнообразия прикладного программного обеспечения, областей их применения и числа пользователей.

Во многих индустриально развитых странах эти процессы переросли инновационную стадию их развития и стали той неотъемлемой частью производства и жизни общества, которую нельзя уже не учитывать в государственных планах его развития. Однако и в этом случае речь идёт не о «внедрении BIM» по распоряжению правительства, а о дальнейшем его развитии с учётом интересов всё более широких слоёв этого общества. По сути, получается, что одномоментно внедрить BIM, тем более чужеродный, с присущими ему многочисленными связями со всем технологическим, нормативным, правовым и социальным укладом страны его происхождения практически невозможно. Его можно только взрастить из отечественных информационных технологий при условии их непрерывного развития и всё большей интеграции с производством, образованием и другими сферами жизни общества.

Вполне очевидно, что активная поддержка и управление этим про-

цессом на государственном уровне будет способствовать его ускорению и эффективному достижению требуемых результатов, тем более, что декларируемые цели и преимущества отечественных и зарубежных информационных технологий практически идентичны. Особую привлекательность этим целям в рекламе зарубежных BIM-технологий придают красивые и внушительные цифры снижения «начальных затрат на строительство и стоимости эксплуатации на 33%, сокращения сроков проектирования, выбросов парниковых газов от строящихся объектов и отставания в экспорте строительных услуг на 50%» [8]. После ошеломляющего эффекта очарования красивыми слайдами многочисленных BIM-презентаций и этими цифрами наступает пора размышлений над множеством вопросов.

Вопросы, риски и направления развития отечественных технологий ИМД

В первую очередь это касается методики и достоверности прогноза этих показателей, которые английской отраслевой стратегией развития «Строительство 2025» намечено достигнуть только через 10 лет при условии успешного развития BIM-технологий до 3 уровня зрелости! Эти обобщённые показатели не дают ясного представления о том, что, когда и как может быть достигнуто в каждом из конкретных направлений строительной отрасли Англии или другой индустриально развитой страны. Вполне очевидно, что для принятия ответственных решений на самом высоком уровне следовало бы предоставить ответы на вопросы типа:

- Как и по отношению к какому состоянию и уровню зрелости BIM-технологий строительной отрасли Англии рассчитаны эти проценты?
- За какое время, по каким показателям и каких результатов можно

достичь в каждом конкретном сегменте строительной отрасли России, например в дорожной?

- Является ли отставание «экспорта строительных услуг» одной из четырёх самых значимых проблем дорожной отрасли России, и насколько улучшится её положение после снижения этого отставания на 50%?
- Готова ли существующая сеть отечественных дорог к снижению «начальных затрат на строительство и стоимости эксплуатации на 33%», и как это отразится на качестве транспортного обслуживания населения и на безопасности движения?

Эти и другие вопросы обусловлены отнюдь не скептическим отношением к импортным или отечественным технологиям информационного моделирования в целом и автомобильных дорог в частности. В первую очередь они отражают наличие существенных опасений в том, что из-за отсутствия объективного анализа уровня, результатов и перспектив развития отечественных технологий ИМД существует высокая вероятность принятия и реализации каких-либо недостаточно обоснованных или не выверенных решений. При этом также весьма высока вероятность их осуществления с не оправдывающими ожидания результатами, которые вернут маятник интереса руководителей и других специалистов отрасли к технологиям информационного моделирования в исходную точку игнорирования значимости их инновационного потенциала и необходимости заботы об их развитии.

О другой наметившейся угрозе риска развития технологий информационного моделирования, связанной со стремлением её монополизации на базе единой, но не российской «BIM-платформы», можно судить по некоторым заявлениям её апологетов о том, что: «На российском рынке есть две-три компании, которые могли бы создать российскую платформу для BIM. Однако без государственной поддержки, самостоятельно, такую разработку вряд ли можно осилить в разумные сроки. Приемлемый для рынка продукт «тянет» на сотни человеко-лет разработки» [9]. Из этого они делают вполне «логичный»

вывод, что: «Когда же BIM станет нормальным способом выполнения проектов, у отечественных разработчиков появится рынок, они смогут далее развиваться самостоятельно, без «подпитки» от государства».

При этом вполне очевидно, что монопольное право разработки и внедрения базового и прикладного ПО для обеспечения информационных технологий ни к чему хорошему не приведёт. Из этого следует вполне логичный вывод о том, что на современном этапе отечественной строительной отрасли необходимы технологии информационно-насыщенного моделирования проектируемых и эксплуатируемых объектов, реализуемые при максимальной интеграции инновационного функционала ПО различных производителей с использованием унифицированных интеллектуальных элементов модели, насыщенных необходимыми параметрическими зависимостями и дополнительной информацией. Фактически мы это и наблюдаем в процессе развития отечественных технологий ИМД, реализуемых с применением программного и технического обеспечения различных производителей.

Сакральная суть этих технологий, которая применительно к обсуждаемой теме кратко сводится к пониманию того, **кто, когда, чем и как** должен обеспечить наилучший результат всего процесса ИМД, сформулирована в [10] и во многих других интервью, презентациях и публикациях на эту тему. И с таким пониманием трудно не согласиться. Так же как и с тем, что это позволит строительной отрасли России «сделать шаг вперёд и вместо того, чтобы строить то, что получается, строить лучшее из возможного», а также с тем, что «это означает многовариантность и принятие решений на основе разнообразных данных на самых ранних стадиях проекта». Именно этим пониманием сути, назначения и путей развития технологий ИМД обусловлено стремление отечественных и зарубежных специалистов не к созданию какой-то единой и универсальной для всех случаев программно-инструментальной платформы, а к созданию разнообразных стандартов и регламентов, обеспечивающих максимально свободную

передачу данных моделей объектов между различными прикладными приложениями.

В силу всё возрастающего объёма требований к эффективности и качеству проектируемых, строящихся и эксплуатируемых объектов для их удовлетворения крайне желательно увеличение числа разработчиков, конкурирующих не в степени закрытости структур и форматов хранения данных, а в степени открытости, удобства, эффективности и качества решения этих задач. В этом залог не только устойчивого развития отечественных технологий ИМД, но и исключения рисков снижения надёжности их технической поддержки и сопровождения из-за неустойчивой конъюнктуры на преимущественно частном рынке производителей ПО, из-за возможных осложнений во внешнеполитической обстановке и пр.

Благоприятные условия и уникальная возможность для реализации качественно нового этапа развития отечественных технологий ИМД

Наибольшие результаты для обеспечения такого процесса в зарубежных технологиях информационного моделирования достигнуты в области зданий и других уникальных, насыщенных сложным технологическим оборудованием сооружений. В области информационного моделирования объектов инфраструктуры и, в частности, автомобильных дорог, этот процесс находится в начальной стадии. Поэтому в ходе реализации намеченных правительством РФ мер отечественным разработчикам предоставляется уникальный шанс уча-



стия в разработке соответствующих отечественных стандартов и регламентов, приведения в соответствие с ними большого объема существующей нормативно-методологической базы дорожной отрасли России. Результативность этой работы будет во многом predetermined накопленным ими уникальным опытом и знаниями в области информатики, изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог.

И такая работа уже начата в ГК «Автодор». В обосновании реализуемой ею политики, направленной на внедрение технологий ИМД, положены актуальные задачи повышения технического качества проектных и управленческих решений на стадиях строительства, реконструкции, капитального ремонта и эксплуатации автомобильных дорог, транспортных развязок и объектов придорожного сервиса. В прикладном функционале существующих технологий ИМД уже накоплен значительный инновационный потенциал, который при решении этих и других задач количественно и качественно превосходит возможности традиционных «ручных» или «бумажных» технологий проектирования и информационной поддержки принятия управленческих решений. Например, опыт проектирования и ремонта дорог с применением отечественных технологий ИМД, современных технологий лазерного

сканирования, а также фрезерования и устройства нового покрытия по его 3D-модели показывает, что цели существенного снижения затрат и повышения качества этих работ, оцениваемые по прямым, а не косвенным показателям, достижимы уже на текущем уровне развития этих технологий [11].

В фокусе проблем — требования, нормы, структуры моделей данных и файлы

Однако раскрытию этого потенциала препятствуют многие проблемы существующей нормативно-методологической базы дорожной отрасли. Некоторые проблемы, связанные с неоднозначностью и неопределённостью нормативных требований к качеству проектных решений, сдерживающие эффективность программной реализации и применения технологий ИМД, изложены, например, в [12, 13] и других источниках. Устранение этих и других проблем с привлечением опыта и знания разработчиков информационных технологий является одной из первоочередных задач их развития. Их решение позволит существенно расширить область творческого поиска вариантов более качественных проектных решений, нуждающихся в постановке и реализации прикладного функционала создаваемых ими систем.

Не менее важным представляется развитие отечественных технологий ИМД, направленное на предоставление пользователям возможности интеграции инновационного функционала ПО различных производителей в той мере, которая необходима для организации их эффективной работы с единой 3D-моделью объекта и связанной с ней информацией. В качестве обоснования актуальности этого направления работ вполне уместно привести мнение доктора Кена Версприлла² о современных проблемах 3D-моделирования [14]: *«Я считаю, что главным недостатком современных моделлеров сегодня является тот факт, что они не уделяют достаточного внимания реальности, в которой мы все живем. Сегодня проектирование — это мир многих приложений, это мир многих САПР, так что рано или поздно данные, возникшие на основе какого-то одного ядра, потребуются перенести на другое ядро и работать с ними уже там. Проблемы, при этом возникающие, связаны, например, с использованием*

² Доктор Ken Versprille знаменит своим выдающимся вкладом в индустрию САПР. Он имеет за плечами сорокалетний опыт применения программных решений для конструирования и производства. Он занимал ведущие должности в компаниях, разрабатывающих и консультирующих в областях CAD/CAM/CAE/CIM. В 2005 году CAD Society, некоммерческая ассоциация отрасли САПР, присудила Кену Версприллу награду за неоценимый вклад в технологию САПР в виде NURBS [15].

...опыт проектирования и ремонта дорог с применением отечественных технологий ИМД, современных технологий лазерного сканирования, а также фрезерования и устройства нового покрытия по его 3D-модели показывает, что цели существенного снижения затрат и повышения качества этих работ, оцениваемые по прямым, а не косвенным показателям, достижимы уже на текущем уровне развития этих технологий.



в вычислениях разных допусков, с неявными последствиями не задокументированного выбора форматов данных, с разными алгоритмическими подходами даже к стандартным геометрическим вычислениям... Точность становится критическим фактором во всех тех случаях, когда геометрические вычисления на 3D-модели выполняются менее точно, чем это потребуется в алгоритмах, которые оперируют с данной моделью на следующих этапах процесса проектирования». Во многом именно этими проблемами обусловлены неудачи многочисленных инициатив организаций-пользователей самостоятельно организовать непрерывные и комплексные технологии ИМД с применением ПО различных производителей, необходимых для обеспечения их эффективной и качественной работы.

Ни для кого не секрет, что, несмотря на различные декларации, возможности реализации BIM-технологий за счёт изменения технологий без изменения ПО, на практике пользователи не могут осуществить полноценный обмен без потери ценной информации не только на уровне достаточно устоявшихся ЦММ, но даже на уровне тех данных ИМД, которые описывают модели их плана или продольного профиля. В таких случаях реальный обмен данными происходит на уровне электронных «картинок», процесс восстановления по которым «живой» и интеллектуальной ИМД сопряжён со значительной потерей времени и сил. Они крайне неэффективно тратятся на настройку соответствия разных библиотек условных знаков и других элементов вспомогательных ресурсов, интерактивное «оживление» расчленённых на множество фрагментов импортированных моделей и на многое другое.

Сложно представить себе тот тупик, в который зайдёт этот процесс при наличии в импортируемой модели оси плана или продольного профиля дороги дуги такого элемента, как «овальная» клотоида, одной из кривых семейства «half-sine» (например, кадиоиды), степенной тормозной поликлотоиды (например, ПЕРС), VGV_Kurve, полиномиальной кривой второй или более высокой степени или эквидистанты одной из

них. Несмотря на то, что эти типы кривых упоминаются только в проектах совершенствуемых норм, они всё шире находят своё применение не только в используемых отечественными пользователями прикладных системах, но и в моделях реальных проектов, а также в геометрии построенных с их применением дорог [3, 4, 16–18]. Всё это повышает вероятность возникновения описанных выше безвыходных для технологий ИМД ситуаций. Для исключения этих и других фатальных при обмене данными проблем необходимо разрабатывать соответствующие ГОСТы, а разработчикам ПО этих технологий крайне необходимо согласованно соблюдать эти требования так, как это определено, например, в [19].

Проблемы обмена данными усугубляются ещё и тем, что для решения задач всего жизненного цикла дороги нужен не один, а несколько типов информационных моделей, например, исходного, концептуального, проектного, строящегося, построенного и эксплуатируемого состояния объекта [20]. Их назначение, требования к их «устройству», т.е. требования к структуре и взаимодействию составляющих её компонент, а также необходимая степень их взаимодействия с другими типами моделей определяются целями тех разнообразных производственных задач, которые необходимо решать на каждом из этапов этого жизненного цикла. Примеры типизации моделей, требований к ним и программные решения практической реализации такой мультимодельной или мультипроектной обработки данных на платформе программных продуктов CREDO III изложены в [21, 22]. Вполне очевидно, что для развития таких или других подходов на мультиплатформенном³ уровне необходима унификация не только самих типов моделей, но также и их «устройства» с открытыми спецификациями структур данных и файлов их хранения. При этом, естественно, требования к этим файлам не должны ограничиваться только перечнем названий их расширений. Ведь многие из них ещё предстоит создать.

³ В некоторых случаях среду, в которой обеспечена совместная работа приложений, созданных на разных программных платформах или для разных операционных систем, называют *гетерогенной* (разнородной).

Программисты всех стран, объединяйтесь!

Конкретные детали возможных вариантов реализации этого направления, с одной стороны, не укладываются в рамки данной статьи, а с другой стороны — не имеют смысла в дальнейшей проработке без наличия осознанного согласия тех разработчиков технологий ИМД, которые готовы принять участие в этой большой, сложной и ответственной работе. Однако понимание взаимной выгоды от её результатов для всех создателей объектов транспортной инфраструктуры и их пользователей, а также реальная перспектива приблизить облик отечественной дорожной отрасли к желаемому цифровому виду даёт основание для инициации этого процесса. Для его успеха необходимо участие наиболее активных пользователей, а также понимание и поддержка заинтересованных в этом руководителях отрасли. ■

Литература:

1. План поэтапного внедрения технологий информационного моделирования в области промышленного и гражданского строительства и проектирования. Утверждён приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 29 декабря 2014 г. № 926/пр.
2. Талапов В. Внедрение BIM в России: куда оно пойдёт? URL: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=17535 (дата обращения: 30.09.2015).
3. Проектирование автомобильных дорог. Справочник инженера-дорожника / Под ред. Г.А. Федотова. М.: Транспорт, 1989. 437 с.
4. Федотов Г.А. Автоматизированное проектирование автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1986.



5. Жуховицкий Г.М., Величко Г.В. Комплексные технологии в дорожной отрасли // Транспортная стратегия — XXI век. 2008. № 4. С. 70–72.
6. Жуховицкий Г.М., Величко Г.В. Отечественные информационные технологии — потенциал развития дорожной отрасли // Дорожная держава. 2015. № 59. С. 20.
7. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года (с изменениями на 11 июня 2014 года). Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008 года, N 1734-р. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902132678> (дата обращения: 30.09.2015).
8. Король М. Британцы сообщили миру, что такое BIM уровня 3: это — Digital Built Britain. URL: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=17570 (дата обращения: 30.09.2015).
9. Король М. BIM-технологии в приоритете Минстроя. URL: http://concurator.ru/press_center/publications?id_object=86 (дата обращения: 30.09.2015).
10. Морозова А. Зачем Мосгосэкспертизе нужен BIM? URL: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=17838 (дата обращения: 30.09.2015).
11. Величко Г.В. Нормативный недоремонт // Автомобильные дороги. 2011. № 5.
12. Величко Г.В. Проблемы и пути реализации инновационного потенциала САПР // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. 2010. № 1(36).
13. Скворцов А.В. Нормативно-техническое обеспечение BIM автомобильных дорог // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. № 2(3). С. 22–32. DOI: 10.17273/CADGIS.2014.2.4.
14. Изобретатель NURBS: о прошлом, настоящем и будущем САПР. URL: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=16049 (дата обращения: 30.09.2015).
15. Версприлл К. URL: http://plmpedia.ru/wiki/Кен_Версприлл (дата обращения: 30.09.2015).
16. Инновационные технологии информационного моделирования и строительства дорог. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=Hwwc6sYeG08&feature=youtu.be> (дата обращения: 30.09.2015).
17. Купин П.П., Близниченко С.С., Игнатьев В.П. Проектирование кривых в плане на внутрихозяйственных дорогах // Автомобильные дороги. 1984. № 4. С. 11–12.
18. Белятынский А.А., Таранов А.М. Проектирование кривых при строительстве и реконструкции автомобильных дорог. Киев: Вища школа, 1989.
19. ГОСТ Р «Элементная база геометрического проектирования дорог» (Проект). Отчёт МАДИ по НИР, выполненной по государственному контракту № ФДА 47/218 от 15.11.2013 г. и дополнительному соглашению № 1 (рег. № ФДА 47/151) от 19.03.2014 г.
20. Скворцов А.В., Сарычев Д.С. Жизненный цикл проектов автомобильных дорог в контексте информационного моделирования // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 1(4). С. 4–14. DOI: 10.17273/CADGIS.2015.1.1.
21. Величко Г.В. Развитие информационно-инструментальной основы автоматизированных технологий в строительстве (доклад на конференции) // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. 2002. № 4–5. С. 40.
22. Программные продукты CREDO третьего поколения. Новые принципы организации данных // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. 2003. № 8. С. 6.

