

УДК 625.72:528.486

*П.А. ЕЛУГАЧЁВ, аспирант,
В.Н. БОЙКОВ, докт. техн. наук, профессор,
П.С. КРЫСИН*

АКТУАЛЬНОСТЬ МЕТОДА ПРОСТРАНСТВЕННОГО ТРАССИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Эмпирические правила по сочетанию геометрических элементов плана и продольного профиля представляют собой рекомендации по назначению величин параметров кривых (радиусы круговых кривых, параметры и длины переходных кривых) и их взаимному сочетанию. Распространить эти правила на сплайн-трассы проблематично, поскольку здесь элементы – понятие условное, а кривизна плавно, криволинейно и постоянно изменяется по длине трассы. Представляется целесообразным интерпретировать эти правила посредством рассмотрения их на дифференциальных показателях пространственной трассы (пространственная кривизна, скорость изменения кривизны, кручение пространственной кривой, скорость изменения кручения и т.п.). Такой подход представляется весьма перспективным, поскольку он является, с одной стороны, математически строгим и, с другой – универсальным.

Современные системы автоматизированного проектирования автомобильных дорог (САПР АД) решают комплекс задач по проектированию, расчету, оценке конструктивных элементов транспортного сооружения.

Первым этапом, или основой формирования автомобильной дороги при проектировании, является трассирование, предопределяющее во многом потребительские качества построенной дороги: эксплуатационно-технические, транспортно-эксплуатационные и эстетические [3].

Для автомобильных дорог особенно важным является соблюдение одного из главных правил, которое требует рассмотрения трассы как пространственной линии. Согласно этому правилу удобная и безопасная для движения дорога может быть запроектирована лишь с учетом рационального сочетания элементов плана и продольного профиля. Но для определения качества такого сочетания необходимо оценивать либо плавность готового сооружения, когда по сути нельзя уже ничего изменить в проекте и остается только вести учет, либо строить компьютерную модель на этапе, когда проект на стадии завершения, что тоже нецелесообразно в связи со сложностью дальнейших исправлений. Как отметил В.Ф. Бабков [3], еще долгое время не будет возможности пространственного трассирования автомобильных дорог ввиду низкой скорости работы компьютеров и отсутствия подходящего математического аппарата. Соответственно плавность трассы будет обеспечиваться только согласованием участков её проекций на плане и профиле. Наглядным примером возможности согласования участков трасы в САПР является программа ROBUR, версии 5.6, 1990–2005 гг. производства НПФ «ТОПОМАТИК», работающая под операционной системой Windows.

Программа имеет три функциональных окна (соответствующие трем проекциям: план, продольный профиль, поперечный профиль), что позволяет

работать в трех проекциях одновременно. Разработчики данного программного продукта рассматривают возможность одновременной работы, пространственного проектирования автомобильной дороги, что указано в справке программного продукта.

На сегодняшний день прогресс шагнул далеко вперед, и мы имеем возможность работать с современными скоростными компьютерами. Необходимо сделать следующий шаг, в сторону выбора математического аппарата, который бы смог описать трассу автомобильной дороги в пространстве.

До сих пор пространственное проектирование (по примеру зарубежных стран) базируется в основном на эмпирических правилах трассирования и использовании методов начертательной геометрии, что связано с формированием на компьютере перспективных изображений для проверки и улучшения пространственной плавности дороги [5]. Кроме того, остается не затронутой сама суть трассирования – математическая модель. Использование пространственных методов трассирования на основе только построения цифровых моделей местности (ЦММ) и цифровых моделей проекта (ЦМП) не даст требуемого результата без перехода от «плоского» проектирования к пространственному. От схемы план – продольный профиль, к схеме пространственная кривая.

Вообще говоря о трассировании, «плоские» функции, или другими словами, геометрические элементы плана и профиля трассы существуют для описания лишь на промежуточном этапе её формирования, поскольку на этапе выноски на местность она преобразовывается опять в пространственный дискретный аналог и вновь «интерполируется», но теперь уже не на математическом, а на физическом уровне посредством дорожно-строительных машин и механизмов. Условно процесс проектирования (с точки зрения пространственной интерпретации) можно разделить на 3 этапа:

1. Получение пространственного дискретного аналога при оцифровке или геодезических работах с использованием современных приборов и технических средств (электронные тахеометры и системы спутниковой навигации ССН).

2. Преобразование в традиционные виды проекций плана и продольного профиля и раздельная работа с ними (но, тем не менее, взаимное согласование в соответствии с требованиями ландшафтного проектирования, нормами и правилами).

3. Преобразование в пространственный дискретный вид для выноса на местность.

Пространственное трассирование, основные понятия которого в дорожной отрасли заложили В.Ф. Бабков, П.Я.Дзенис, Ю.Я. Науджун, Е.М. Лобанов, В.Н. Бойков является актуальной задачей.

В их работах критерием пространственного проложения трассы выступает плавность. Причем плавность должна быть постоянной, исходя из возможностей оптического анализа. И сейчас проводятся исследования в этой области, но с широким применением компьютеров.

Требование того, что плавность дороги должна быть постоянной, было выдвинуто еще до сороковых годов немецкими инженерами. Эмпирические правила инженера Х. Лоренса по обеспечению оптической плавности дороги получили широкое распространение в технических условиях многих стран

и учитываются при проектировании. В связи с тем, что эмпирические правила имеют общий характер, выгодные соотношения между элементами трассы в каждом конкретном случае устанавливают на основе оптического анализа, используя перспективные изображения.

Плавность автомобильной дороги выявляется на заключительных этапах проектирования. Существует всего два подхода определения пространственной плавности автомобильной дороги. Первое – это ландшафтное проектирование, которое отвечает в большей степени за эстетический вид автомобильной дороги и её плавность по отношению к окружающему ландшафту, и пространственное проектирование, то есть плавность с точки зрения безопасности движения автомобиля на сочетаниях участков прямых и кривых в плане и продольном профиле. Визуальная оценка плавности с точки зрения водителя автомобиля, движущегося с заданной скоростью, выявляется на этапе анализа существующей автомобильной дороги либо на этапе так называемого 3D тестирования (визуализации), с помощью чего можно оценить либо модель (когда полностью готов проект), либо существующую конструкцию. В принципе эти два метода дополняют друг друга, но не являются исчерпывающими. Необходимость проектирования трассы автомобильной дороги с точки зрения пространственного трассирования до сих пор не решена. В работе П.Я. Дзениса [4] сказано, что в отдельных случаях определить точные величины пространственных корректур трассы по перспективному изображению затруднительно и требуются повторные проверки трассы, улучшенной в плане и профиле. То есть нужны такие возможности и средства, с помощью которых мы научились бы пространственно трассировать, а не прокладывать трассу на местности (читать плоскости).

Конечно, значительно проще определить пространственную плавность дороги на начальных этапах проектирования, учитывая конкретные рекомендации и соотношения, чем разрабатывать заведомо неверные решения, а затем их исправлять.

Как было сказано ранее, выделяют два направления в проектировании:

- ландшафтное проектирование дорог (обеспечение плавности с точки зрения гармонии с ландшафтом);
- пространственное проектирование дорог (обеспечение плавности с точки зрения безопасности, комфорта движения по дороге).

Методом оценки при ландшафтном проектировании является визуальная оценка [1, 2]. То есть с помощью построения моделей в картинной плоскости (с помощью компьютера) выясняется степень сочетания кривизны в плане, в профиле и в пространстве.

Этот метод действительно эффективен, так как позволяет визуально выделить те элементы пространства, которые значительно влияют на плавность проложения, в окружающем ландшафте. Если для ландшафтного проектирования это может быть достаточным, то в случае пространственного проектирования мало знать, что трасса является не плавной и имеет какие то искажения, но и нужно знать, как эти искажения исправить посредством тех или иных параметров, которые позволили бы нам в следующий момент не сделать аналогичной ошибки в проекте.

Это осуществимо только посредством пространственного трассирования.

Подход пространственного трассирования рассматривал в своей работе Дзенис, когда интерпретировал отрезок кривой в плане и профиле (клотоиды) в пространственный вид [4].

На самом деле сложно представить себе пространственное сочетание кривых, построенных по двум разным функциям, а тем более имеющим разные переменные. И конечно, при интерпретации таких кривых в пространственный вид не может идти речь об их плавности.

Спецификой проектирования трассы дороги на сегодняшний день является то, что ординаты кривых в плане y определяются как $f(x)$, а ординаты кривых в профиле z по направлению кривой в плане как $f(s)$. Чтобы в наиболее простом виде получить уравнение пространственных кривых, принимается, что $s = x$. Сочетание, определенное круговой кривой в плане и в профиле, в общем случае является пространственной кривой. На плоскость ZOY кривая проектируется в виде гиперболы, за исключением случая, когда $R_{\text{в профиле}} = R_{\text{в плане}}$.

Существует допущение, что $s = x$ только при угле поворота трассы $\alpha = 14^\circ$ дает ошибку $(s - x): s = 0,01$.

При совершенном совмещении начальных точек парабол в плане кривая в пространстве определяется уравнениями (принято $i_{\text{НК}} = 0 \text{ ‰}$):

$$x^2 = 2yR_p. \quad (1)$$

$$S^2 = 2zR_v, \quad (2)$$

где x, y – координаты точек кривой в плане, м; S, z – координаты точек кривой в профиле, м; R_v, R_p – параметры параболы плана и профиля, м.

Принимаем, что $s = x$. Исключая из уравнения переменную x , получаем функциональную зависимость:

$$Z = \frac{R_p}{R_v} y. \quad (3)$$

Опытное проектирование, проведенное П.Я. Дзенисом, показало, что достижение рационального сочетания кривых в плане и профиле возможно, однако возникает большое их количество, которое приводит к усложнению процесса трассирования. При условии использовании сплайна в плане и профиле задача по сочетанию кривых в несколько раз усложняется.

При анализе проектов дорог можно заметить, что в настоящее время удачные сочетания кривых плана и профиля составляют примерно 2 % от их общего количества и часто могут быть рассмотрены как случайные. Приведенными заключениями определяется особая необходимость уделять больше внимания вопросам пространственной геометрии трассы дороги.

Дальнейшая работа, по мнению авторов, должна вестись в области разработки математической модели пространственной кривой и разработки алгоритма [2]. В качестве такой модели может выступать кривая Безье.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 2.05.05-85. Автомобильные дороги. Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 56 с.
2. Бойков, В.Н. Применение кривых Безье при трассировании автомобильных дорог / В.Н. Бойков, М.А. Елугачёв, П.А. Елугачёв // НиТ в Дорожной отрасли. – № 3. – 2005. – С. 17–20.
3. Бабков, В.Ф. Ландшафтное проектирование автомобильных дорог / В.Ф. Бабков. – М. : Транспорт, 1980. – 189 с.
4. Дзенис, П.Я. Пространственное проектирование автомобильных дорог / П.Я. Дзенис, В.Р. Рейнфельд. – М. : Транспорт. – 120 с.
5. AASHTO. A policy on geometric design of highways and streets. – American Association of State Highway and Transportation Officials. – Washington, D.C., 1990. – 1044 p.

P.A.ELUGACHEV, V.N. BOIKOV, P.S. KRY SIN

URGENCY METHOD OF SPATIAL TRACING OF HIGHWAYS

The problems of spatial tracing as alternative method applied in systems of automated design- ing are considered in the paper. Mathematical Bezier theory interpreted by considering the differential indicators of spatial curvature of highway (spatial curvature, rate of curvature change and torsion) was used in this method. Such technique on the one hand is mathematical strict and on the other hand it is universal.

УДК 625.7

*С.Р. ЛЮСТ,
М.А. ЕЛУГАЧЁВ,
В.О. МОТУЗ*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

В статье проводится анализ методов проектирования транспортных развязок и пути повышения обоснованности принятых проектных решений. Рассматривается вопрос выработки более гибких моделей закругления в плане на основании улучшения инструментов трассирования, что позволит увеличить плавность закругления по сравнению с традиционными методами построения транспортных пересечений.

Состояние вопроса

Проектирование пересечений и примыканий автомобильных дорог является актуальной практической задачей. Сеть автомобильных дорог имеет многочисленные пересечения и примыкания. В зависимости от интенсивности движения на главной и второстепенной дорогах и количества поворачиваю-