



УДК 625.724

Николаева Р.В. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: nikolaeva1@bk.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Предложения по проектированию автомобильных дорог с учетом восприятия водителем дорожных условий

Аннотация

В статье рассматривается влияние радиусов кривых в плане автомобильных дорог на риск возникновения дорожно-транспортных происшествий. При проектировании геометрических параметров автомобильной дороги предлагается использовать такие показатели, как рассеивание траектории движения и индекса дискомфорта. Указанные параметры помогут исследовать влияние размеров радиусов кривых в плане на восприятие их водителями. При проектировании автомобильных дорог предлагается использовать передовые технологии визуализации и моделирования дорожного пространства. Это позволит определить взаимосвязь между геометрическими параметрами дороги и поведенческими аспектами водителей, что в свою очередь позволит повысить безопасность дорожной инфраструктуры.

Ключевые слова: автомобильная дорога, радиус кривой в плане, скорость, поперечная сила, водитель.

На основании анализа причин аварийности на автомобильных дорогах и изучения опыта ряда стран установлено, что по вине человеческого фактора совершается 70-75 % ДТП, 3,7 % – по вине водителей профессионалов, 20-22 % – по причине неудовлетворительного состояния дорог, 3-5 % – от неудовлетворительного технического состояния автомобилей [4, 6].

Причины ошибок водителей можно разделить на две составляющие:

1. Внутренние причины: ослабление физиологической способности, ослабление внимания, незнакомая местность и т.д.

2. Внешние причины: дефекты окружающего ландшафта (вводящие в заблуждение), сложность дорожного участка (поворот, крутой уклон), ограничение видимости и т.д.

Устранение внешних причин ошибок водителя совершаемых при движении по автомобильной дороге, можно добиться на стадии проектирования элементов дорожной инфраструктуры. Правильно запроектированная дорога имеет решающее значение для предотвращения человеческих ошибок и способствует снижению аварийности.

Согласно теории системного проектирования, закономерности поведения водителей проявляются в его взаимодействии со средой движения, результатом которого являются скорость и траектория движения. В рамках такого подхода автомобильная дорога понимается как логическая основа деятельности водителя, а основная задача проектирования и организации движения заключается в согласовании параметров среды движения с принципами поведения водителей [2].

При проектировании автомобильных дорог необходимо учитывать, что способность человека реагировать на различные раздражители окружающей среды ограничена. К тому же человек, сидящий за рулем, должен не просто реагировать на изменяющуюся дорожную обстановку, но и осмысливать полученную информацию, принимая оптимальные решения по управлению автомобилем. Последнее в значительной мере определяется параметрами автомобильной дороги и тем, насколько полно учтены при их обосновании характеристики и особенности водителя. Дорога, запроектированная без учета рационального использования нервно-психических и физиологических возможностей водителя, содержит потенциальную опасность возникновения дорожно-транспортных происшествий и не способствует высокой производительности труда.

К факторам влияющим на зрительное восприятие дорожной обстановки водителем можно отнести: скорость движения, время восприятия информации, горизонтальный угол зрения, вертикальный угол зрения, расстояние видимости, уровень глаз, погодные условия, рельеф, время суток.

Транспортно-эксплуатационные качества дороги определяются криволинейностью трассы в плане и профиле. На дорогах с неоднородными условиями движения (крутые повороты, уклоны, чередующиеся с прямыми участками) относительное количество ДТП выше по сравнению с дорогами, обеспечивающими плавные и спокойные условия движения. Анализ статистики аварийности показывает, что 15 % ДТП концентрируются на кривых в плане, что свидетельствует об усложнении условий движений на них по сравнению с прямолинейными участками дороги.

Влиянию параметров кривых в плане на аварийность посвящено много исследований. В исследованиях В.Ф. Бабкова было установлено, что быстрый рост аварийности наблюдается при радиусах кривизны в плане менее 600 м, а условия движения по кривым участкам радиусом 2000 м практически не отличаются от наблюдаемых на прямолинейных участках. Большинство зарубежных исследователей (П. Макбин, Дж. Лейси, Вогг и др.) в качестве критической рассматривали величину кривой, близкой к 500 м. В некоторых исследованиях в качестве аналогичной указывалась величина около 200 м. Позднее. В исследованиях К. Хедмана (Швеция) было установлено, что относительная аварийность с увеличением радиуса кривой в плане резко уменьшается до величины радиуса 1000 м и продолжает постепенно снижаться до тех пор, пока радиус не превысит 3000 м. Зависимость показателя риска ДТП от величины радиуса кривых в плане на дорогах различного типа представлены на рис. 1 [5].

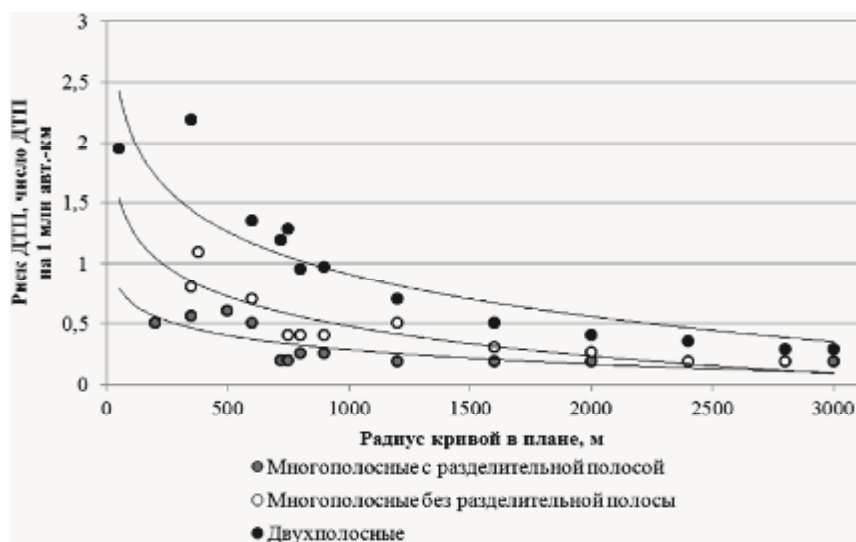


Рис. 1. Зависимость показателя риска ДТП от величины радиуса кривых в плане на дорогах различного типа

Установленные закономерности позволяют сделать вывод о значимом влиянии величины радиусов на кривых в плане, на риск возникновения аварийных ситуаций на дорогах. Необходимо также учитывать возросшие скорости современных автомобилей, т.к. водители при движении на кривых малого радиуса не скидывают скорость, а поддерживают ее за счет спрямления траектории движения с частичным выездом на полосу встречного движения.

Процесс восприятия кривых в плане является сложным процессом и требует исследований междисциплинарного характера в отношении широкого перечня взаимосвязанных элементов: автомобильной дороги, внешних факторов, водителя.

При движении автомобиль движется не по прямой линии на прямых участках и не по кривой постоянного радиуса на поворотах. Водитель, управляя автомобилем, движется с некоторым отклонением от намеченной траектории движения, при этом автомобиль

занимает ширину проезжей части больше его габаритной ширины вследствие поперечных колебаний кузова и «рыскания» автомобиля по курсу. В работе [1] такое движение автомобиля определено показателем рассеивание траектории движения (РТД). Показатель рассеивание траектории движения рассматривается как количественная оценка рассеивания траектории водителя по кривой (t_v), в отношении его средней траектории (t_a). Чем выше значение показателя рассеивание траектории движения, тем сложнее водителю воспринимать изменения геометрических параметров автомобильной дороги.

Показатель рассеивание траектории движения определяется по формуле:

$$РТД = \int_{s=0}^{s=L} |t_v(s) - t_a| ds, \quad (1)$$

где $t_v(s)$ – отклонение траектории движения автомобиля относительно средней траектории движения на криволинейном участке; t_a – средняя траектория движения водителя на криволинейном участке; L – длина кривой, м.

Рассеивание траектории движения на криволинейном участке автомобильной дороги представлено на рис. 2. При делении показателя рассеивание траектории движения на длину кривой (L), можно сравнивать между собой кривые, которые отличаются радиусом и длиной кривой.

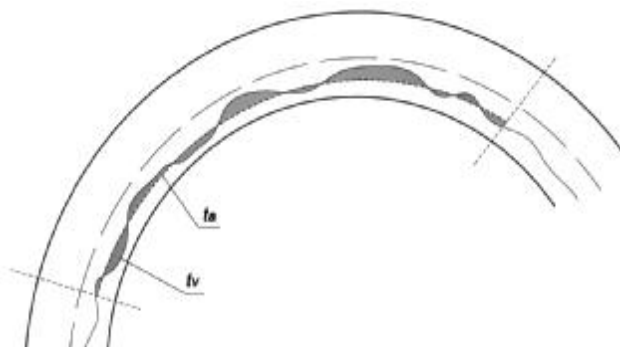


Рис. 2. Рассеивание траектории движения

При проектировании кривых в плане необходимо учитывать расположение транспортного средства по дороге, предполагая правильную и безопасную траекторию движения с учетом поперечной силы, и его влияние в зависимости от размеров радиусов кривых в плане. Исследования показывают, что нервно-психическая напряженность водителей при проезде по кривой малых радиусов возрастает. Так действующая на автомобиль при проезде по кривым малого радиуса поперечная сила оказывает на него ряд воздействий – стремиться сместить его с дороги или опрокинуть, затрудняет управление, снижает комфортность поездки. С учетом этих воздействий определяется допустимые значения коэффициентов поперечной силы [5].

При обеспечении безопасности и удобства движения с расчетными скоростями следует назначать величины радиусов кривых в плане на автомобильных дорогах исходя из наименьших значений коэффициента поперечной силы (μ). Так, при значениях коэффициента поперечной силы $\mu < 0,05$ водитель чувствует себя расслабленным, в коре головного мозга происходит интенсивное развитие тормозных процессов. При значениях $\mu > 0,18$ возбуждающие процессы усиливаются, что приводит к быстрому утомлению водителей. Расслабление, как и излишнее возбуждение, не позволяет водителю объективно оценивать информацию о дорожных условиях, что, в конечном счете, может привести к дорожно-транспортному происшествию.

Основные теоретические предположения: водитель на дороге должен выбирать правильную и безопасную траекторию. Если водитель корректирует траекторию движения автомобиля больше, чем предполагает кривизна дороги, следовательно, такую дорогу можно считать небезопасной.

Влияние на водителя поперечной силы действующей на автомобиль при проезде криволинейных участков, возникающей при коррекции траектории движения водителем можно охарактеризовать показателем – индекс дискомфорта (ИД) [1].

Для каждой кривой можно показатель индекс дискомфорта при проезде по кривой в плане с учетом поперечного ускорения автомобиля (которое соответствует силе, действующей на автомобиль на повороте и направленной от центра траектории движения) по формуле:

$$ИД = \int_{s=0}^{s=L} |a_i(S)| ds \approx \sum_{i=0}^N \left(a_{ii} - \frac{v_i^2}{R_i} \right), \tag{2}$$

где a_{ij} – поперечное ускорение автомобиля, м/с²; v_i – это средняя скорость автомобиля на кривой, м/с; R_i и L – радиус и длина кривой, соответственно, м.

Показатель индекс дискомфорта соответствует площади между линией поперечного ускорения автомобиля и линией среднего значения поперечного ускорения. Изменение показателя индекса дискомфорта на криволинейном участке автомобильной дороги представлено на рис. 3. При делении показателя индекса дискомфорта на длину кривой (L), можно сравнивать между собой кривые, которые отличаются радиусом и длиной кривой.

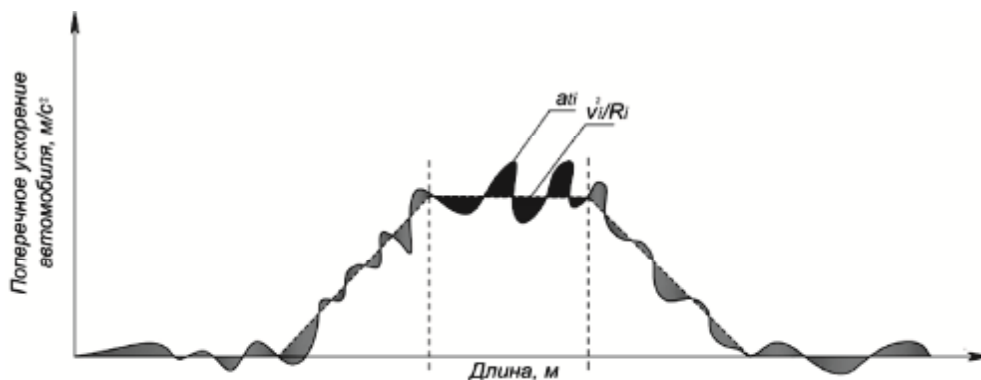


Рис. 3. Индекс дискомфорта

При проезде извилистых участков дороги на скорость движения автомобиля, помимо радиуса закругления существенно влияют геометрические элементы смежных кривых, а также расстояние между ними. Так, с увеличением длины прямой вставки между обратными круговыми кривыми, скорость основной массы автомобилей возрастает. Например, скорость легковых автомобилей 85 и 95 %-ной обеспеченности при длине обеспеченности при длине прямой вставки, равной 85-90 м, выше аналогичных скоростей, реализованных при длине прямой вставки $L = 20$ м на 25 %, а при $L = 35-40$ м на 10-12 %. Длину прямой вставки, после достижения которой не происходит возрастания скорости движения основной массы автомобилей, принимают за ее наименьшее допустимое значение. Для кривой радиусом 200 м такая длина равна 50-55 м.

При определенной длине прямой вставки между обратными кривыми можно пользоваться данными, представленными в табл. 1.

Таблица 1

Элемент плана трассы	Радиусы смежных обратных кривых, м						
	50	80	100	125	150	200	250
Наименьшие допустимые длины прямых вставок, м	40	50	60	65	70	80	90

Если длина прямой вставки меньше данных величин необходимо полностью отделить встречные потоки друг от друга. Это возможно путем раздельного трассирования встречных полос движения либо путем устройства разделительных островков. Если длина прямой вставки между обратными кривыми больше приведенных

величин, достаточно осевой разметки, которая одновременно должна запрещать обгон на кривых малых радиусов ($R = 250$ м), для чего ее следует делать сплошной. Если длина прямой вставки достаточна, а условия видимости благоприятны, целесообразно на обратных кривых с радиусами более 250 м разрешать обгон для легковых автомобилей. Для этого следует наносить осевую пунктирную разметку при разрешении обгона в обоих направлениях.

Известно, что необходимым условием удобного и безопасного движения по автомобильной дороге является его плавность. При этом зрительная плавность участка, при которой взгляд водителя не встречает резких переломов и провалов трассы, оценивается величиной отклонения точек криволинейного отрезка оси дороги от прямой. Эта величина назначается с учетом остроты зрения, которая характеризуется минимальным расстоянием между двумя объектами, различимыми человеком. Минимальное расстояние определяется как проекция основания конуса зрения и вычисляются по формуле:

$$f = L \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (3)$$

где L – расстояние от точки зрения до плоскости, в которой размещены объекты; α – угол при вершине конуса (угол принимается – 15').

Ниже приведены минимальные значения f , различимые водителем на различных расстояниях L (табл. 2.):

Таблица 2

L , м	550	500	300	250	200
f , м	2,2	2,0	1,2	1,0	0,8

С учетом изложенного, представляется возможным учесть одну из важных характеристик зрения человека при обосновании радиусов кривых в плане и профиле и определить минимальное расстояние между началом горизонтальной кривой и переломом продольного профиля, обеспечивающее своевременное распознавание водителем поворота дороги, совмещенного с переломом профиля.

Жизненный цикл автомобильной дороги представлен последовательностью этапов существования объекта, от идеи и обоснования необходимости в дороге до ее ликвидации. Результатом каждого из этапов является информационная модель объекта определенной детализации, достаточной для принятия решения именно на этом этапе [3].

В процессе проектирования геометрических параметров дороги необходима, также проверка зрительного восприятия дорожной обстановки и оценка возможного поведения водителя, для выявления возможных участков концентрации ДТП на ранних стадиях проектирования и устранения их.

Для достижения более эффективного качества проектирования конструкции и элементов автомобильной дороги, необходимо использовать новые средства и методы моделирования восприятия водителем дорожных условий. Моделирование реальных дорожных условий позволит учитывать человеческий фактор при проектировании дорог. В этой связи рекомендуется визуализации проектируемой дороги и проверка поведения водителя в исследованиях на специально создаваемых симуляторах вождения (тренажерах).

Основная цель такого моделирования, это изучение поведения водителя и восприятие кривых в плане автомобильной дороги, для повышения безопасности дороги.

В частности данная цель имеет две подгруппы целей:

1. Исследование влияния смежных элементов автомобильной дороги в плане на поведение водителя. Задачи, решаемые в данной группе целей:

- проверка влияния предыдущего геометрического элемента дороги на сценарий поведения водителя;
- устранение влияния последовательно идущих кривых в плане и влияние одного элемента на другой.

2. Анализ влияния конструкции автомобильной дороги на параметры вождения, на поведение водителя, выбор скорости движения. Задачи, решаемые в данной группе целей:

- проверка влияния радиуса кривой в плане на поведение водителя и восприятия риска;
- изучение эффективности выбранных параметров кривых;

– оценка влияния видимости дороги на поведение водителя (различия в восприятии риска на кривых при ограниченной видимости).

Передовые технологии визуализации и моделирования дорожного пространства позволят раскрыть взаимосвязь между проектными параметрами дороги и поведенческими аспектами водителя, которые важны для создания более безопасных транспортных систем. Результаты научных исследований в данной области должны находить отражение в нормах на проектирование автомобильных дорог.

Сегодня необходимо совершенствование отечественных норм проектирования автомобильных дорог, которые требуют проведения масштабных исследований скоростных режимов движения транспортных потоков с целью создания новых норм проектирования, обеспечивающих безопасность движения и которые позволят обеспечить создание дорожной инфраструктуры, адаптированной к ограничениям и возможностям человеческого потенциала.

Список библиографических ссылок

1. Zakowska L. Operational and safety effects of highway design // Manuscript for 4th International Symposium on Highway Geometric Design. URL: http://www.4ishgd.valencia.upv.es/index_archivos/27.pdf (дата обращения: 15.04.2016).
2. Братков А.Г. Повышение безопасности движения средствами проектирования дорог. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-bezopasnosti-dvizheniya-sredstvami-proektirovaniya-dorog> (дата обращения: 15.04.2016).
3. 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.
4. Стороженко М.С. Некоторые аспекты повышения безопасности движения на автомобильных дорогах // Вестник ХНАДУ, 2009, № 47. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-aspekty-povysheniya-bezopasnosti-dvizheniya-na-avtomobilnyh-dorogah> (дата обращения: 15.04.2016).
5. Чванов В.В. Методы оценки и повышения безопасности дорожного движения с учетом условий работы водителя. – М.: ИНФРА-М, 2010. – 476 с.
6. Чванов В.В. Сравнительный анализ международных статистических данных о дорожно-транспортных происшествиях // Сб. науч. тр.: МАДИ (ГТУ). – М., 2000. – С. 111-120.

Nikolaeva R.V. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: nikolaeva1@bk.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Suggestions for road design taking into account the driver perception of road conditions

Resume

Analysis of causes of accidents on the roads shows that the majority of them occur due to mistakes made by drivers. Causes of driver error can be divided into internal (psycho-physiological condition of the driver) and external (road conditions). The causes of committing driver errors can be achieved at the design stage of the road.

The curves in the plan are 15 % of road accidents, which indicates the complication of the conditions of movement on them compared to straight road segments. When designing roads it is necessary to consider the trajectory of (dispersion of trajectory) and the forces acting on the car (the discomfort index) on curved sections of road.

For estimating the dispersion trajectory and the discomfort index is required to use the technologies of visualization and simulation of road space. This will allow to study the effect of road design on driver behaviour. The results of these studies should be taken into account in the

regulations for design of highways. Properly designed road is crucial to prevent human errors and helps to reduce accidents.

Keywords: road, radius of horizontal curve, speed, shear force, driver.

Reference list

1. Zakowska L. Operational and safety effects of highway design // Manuscript for 4th International Symposium on Highway Geometric Design. URL: http://www.4ishgd.valencia.upv.es/index_archivos/27.pdf (reference date: 15.04.2016).
2. Bratkov A.G. Improving traffic safety by means of road design. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-bezopasnosti-dvizheniya-sredstvami-proektirovaniya-dorog> (reference date: 09.20.2015).
3. Skvortsov A.V., Sarychev D.S. the Life cycle of the project roads in the context of information modeling // CAD & GIS for roads, 2015, № 1 (4). – P. 4-14.
4. Storozhenko M. S. Some aspects of improvement of traffic safety on highways // Vestnik hnadu, 2009, № 47. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-aspekty-povysheniya-bezopasnosti-dvizheniya-na-avtomobilnyh-dorogah> (reference date: 15.04.2016).
5. Chvanov V.V. Methods for evaluating and improving road safety, taking into account the working conditions of the driver. – M.: INFRA-M, 2010. – 476 p.
6. Chvanov V.V. Comparative analysis of international statistics on accidents // Coll. scientific. Tr.: MADI (STU). – M., 2000. – P. 111-120.