

Николай ШКИТ¹

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ АВТОПОЕЗДОВ НА ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ДОРОЖНЫХ РАЗВЯЗОК

В работе представлена методика построения траектории движения автопоездов при исполнении маневров поворота. Данную методику можно использовать при назначении геометрических разметок элементов дорожных развязок. На неупорядоченных перекрестках, где радиусы кривых в плане не соответствуют требованиям движения современных крупногабаритных транспортных средств, водители, движущиеся по главной дороге, прежде, чем осуществить правоповоротные маневры, вынуждены максимально снижать скорость движения, смещаться на встречную полосу, осуществлять поворот, заканчивая его также на полосе встречного движения второстепенной дороги. При наличии на этой дороге стоящего в очереди для осуществления поворотного маневра транспортного средства движение транспортных потоков на перекрестке может быть полностью парализовано. Вероятность заторов и долгосрочных простоев увеличивается, если ширина проезжей части второстепенной дороги составляет менее 6 м. Назначение типа закруглений на пересечениях и примыканиях, когда как основной тип округления применяется дуга, которая представлена круговой кривой без дополнительных переходных кривых, не соответствует современным условиям движения транспортных средств. Известно, что при движении по закруглению разные колеса автомобиля движутся по траекториям разного радиуса и не могут описывать кривую постоянного радиуса. Габаритная полоса движения (ГПД) имеет достаточно сложный вид, а траектория движения крупногабаритных транспортных средств требует своего исследования. В работе представлены результаты исследования траектории движения автопоездов при выполнении поворота. Также была предложена методика по определению траектории движения автопоездов. Разработаны рекомендации по проектированию геометрических параметров элементов дорожных развязок в одном и разных уровнях.

Ключевые слова: дорожные развязки в одном уровне, дорожные развязки в разных уровнях, траектория движения, автопоезд, островок безопасности.

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в составе транспортных потоков наблюдается увеличение количества большегрузного транспорта, преимущественно транзитного. Это необходимо учитывать при проектировании автомагистралей, в особенности тех, которые являются международными транспортными коридорами.

¹ Николай ШкиТ, аспирант кафедры проектирования дорог, геодезии и землеустройства, Национальный транспортный университет, г. Киев, Украина, e-mail: shketkol@gmail.com

Особого внимания требует изучение движения крупногабаритного транспорта на пересечениях и примыканиях, которые являются местами повышенной аварийности, последствия же дорожно-транспортных происшествий с участием автопоездов весьма тяжелые².

Изучением особенностей движения крупногабаритного транспорта, построением математических моделей траектории движения занимались Попов С.Д.³, Закин Я.Х.⁴, Сахно В.П.⁵, Эркерт Т.У.⁶, Харвуд Д.У.⁷

Работа Попова С.Д. основывается на построении траектории криволинейного движения автопоезда, основанной на упрощенной «велосипедной модели». Но эта модель имеет существенный недостаток - чтобы построить траекторию движения, необходимо сделать большое количество расчетов. Так как в расчетах используются сложные формулы по теоретической механике, ими довольно сложно пользоваться.

Особого внимания заслуживает методика, предложенная Закиным Я.Х., которая ранее использовалась для построения траектории движения автопоездов, но сегодня требует модернизации в связи с изменившимся составом движения. Методика состоит в том, что при анализе кинематики криволинейного движения автопоезда определяются траектории его определенных точек. Как основная определяется траектория середины ведущего моста.

Сахно В.П. в своей работе исследовал маневренность автопоездов с системой управления углами складывания звеньев.

Эркерт Т.У. предложил графическую модель построения траектории движения автопоездов. Однако, данная методика сложна для практического использования, так как нужно строить траекторию движения пошагово. В каждой точке нужно определять углы смещения прицепа относительно автомобиля-тягача;

Харвуд Д.У. в своей работе составил перечень расчетных автопоездов и геометрические параметры характеристик, которые влияют на проектирование элементов дорог и развязок.

В результате анализа предыдущих методик можно констатировать, что необходима методика, основанная на изучении траектории движения современных крупногабаритных транспортных средств, которая была бы достаточно простой для практического применения и обладала необходимой точностью. Модель кривой строится при движении автопоездов на малых скоростях. Это обусловлено необходимостью снижения скорости при проезде участков поворота для данных видов транспорта. Главной характеристикой, которая влияет на ГПД в зависимости

² IRU, *Научное исследование. Причины дорожно-транспортных происшествий с участием грузовых автомобилей в Европе: Краткий обзор и рекомендации*, Международный союз автомобильного транспорта, Швейцария 2007.

³ С.Д. Попов, *Об одном из возможных подходов к управлению маневром многозвенных колесных платформ*, Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана: электронное издание, Москва 2013.

⁴ Я.Х. Закин, *Прикладная теория движение автопоезда*, ТРАНСПОРТ, Москва 1967.

⁵ В.П. Сахно, *Аналіз стійкості і маневреності сидельного автопоїзда з системою управління кутами складання його ланок*, „Автошляховик України. Окремий випуск. Вісник ЦНЦ ТАУ” 2006/9, с. 85-89.

⁶ T.W. Erkert, *Computer simulation of offtracking of truck and trailer combinations using forest roads*, Department of Civil Engineering Oregon State University Publ., Oregon State 1989.

⁷ D.W. Harwood, I.B. Potts, D.J. Torbic, *Highway/Heavy Vehicle Interaction*, TRANSPORTATION RESEARCH BOARD Publ., Washington 2003.

от траектории движения тягача, является величина смещения прицепа. В работе предлагается следующая методика проведения исследования:

- а) строится траектория движения середины оси тягача заданного радиуса;
- б) определяется максимальное смещение задней оси полуприцепа относительно передней оси тягача.

При построении траектории движения известно, что передняя и задняя оси тягача не двигаются по одной траектории. Как передняя, так и задняя оси описывают круговую траекторию, но величина смещения кривой, проведенной через центр передней оси, составляет до 0,5 м.

Максимальное смещение задней оси полуприцепа определяем по формуле (1):

$$B_{max} = \frac{R - \sqrt{R^2 - L_1^2 + L_2^2 - L_3^2}}{2} \quad (1)$$

где B_{max} – отклонение траектории задней оси относительно траектории передней оси, м;

L_1 – база тягача, м (рис. 1);

L_2 – расстояние от задней оси автомобиля-тягача до точки сцепки полуприцепа с автомобилем-тягачом, м;

L_3 – расстояние между точкой сцепки и средней осью ходовой тележки полуприцепа, м.

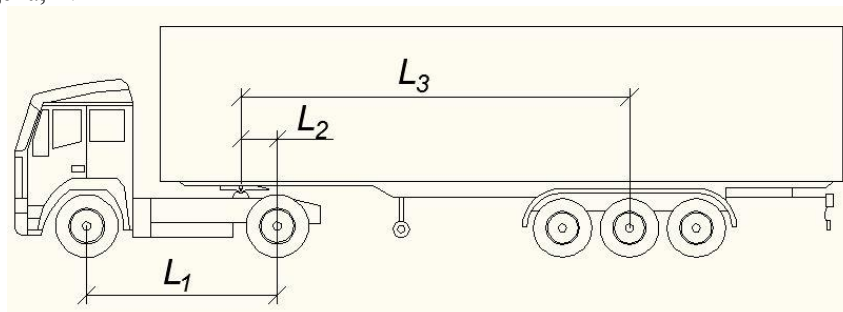


Рис. 1. Значения геометрических параметров автопоезда L_1 , L_2 , L_3 .

Коэффициент «2» был определен экспериментальным путем (1) и используется с учетом того, что движение осуществляется не по ломаным линиям, а по кривой, в результате чего величина смещения прицепа будет меньше. Под ломаными линиями понимается, что три точки кривой соединяются отрезками прямых, а сама траектория строится в виде кривой. Данный коэффициент получен эмпирическим путем в результате проведения экспериментальных исследований⁸.

- с) проводится перпендикуляр, равный B_{max} , с середины криволинейного участка траектории тягача.

⁸ А.Я. Хомяк, Н.А. Шкит, *Особенности движения грузового транспорта в транспортных узлах*, „Национальный транспортный университет” 2015/31, с. 545–554.

d) строится траектория движения задней оси полуприцепа, после чего соединяются полученные точки 1, 2, 3 (рис. 2).

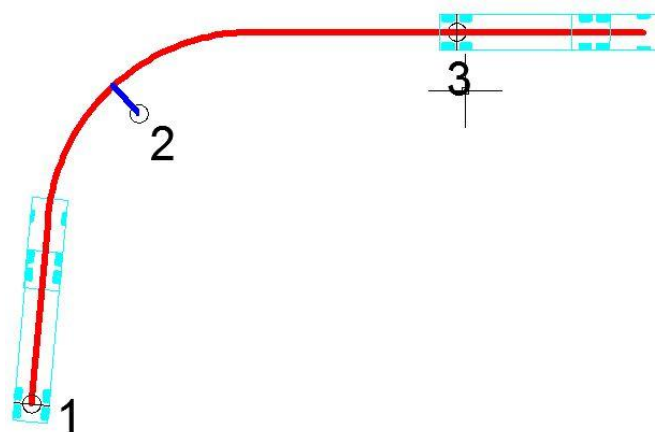


Рис. 2. Схема для определения траектории движения полуприцепа.

Построение траектории движения автопоезда при маневре на 90° при радиусе поворота $R = 15$ м изображено на рис. 3.



Рис. 3. Траектория движения автопоезда при осуществлении маневра на кривой радиусом 15 м.

Проведены экспериментальные исследования с заездами для определения траектории движения автопоезда. Результаты исследования показали, что разница между теоретической и экспериментальной траекториями движения с 95% вероятностью совпадает и находится в пределах допустимых отклонений. Следовательно, предложенный выше графический метод построения можно применять для построения траекторий движения крупногабаритных транспортных средств.

Данная методика была использована для создания рекомендаций по проектированию элементов дорожных развязок.

2. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ ДОРОЖНЫХ РАЗВЯЗОК В ОДНОМ УРОВНЕ

Применительно к дорожным развязкам в одном уровне было проведено наложение траекторий движения автопоездов на пересечениях и примыканиях в одном уровне. В результате были разработаны рекомендации по проектированию параметров геометрических элементов развязок.

Данные рекомендации соответствуют тем участкам, где траектория движения полуприцепа максимально отклоняется и где совмещается с траекторией движения тягача. При максимальном смещении полуприцепа безопасное расстояние до кромки проезжей части составляет около 2 м, а на участках, где прицеп только начинает смещаться – около 1,5 м. Эта величина не является постоянной – она может колебаться и будет зависеть от мастерства водителя и длины транспортного средства. Средняя часть, где устроена круговая кривая, имеет такое безопасное расстояние, которое позволит совершить безопасный и беспрепятственный проезд автопоездов, состоящих из отдельных прицепов, соединенных между собой с помощью дышла.

Данные величин круговых и переходных кривых в соответствии с категориями дорог, с которых осуществляется маневр, отражены в таблице 1. В случае, если примыкания или пересечения выполнены для дорог различных категорий, радиусы кривых нужно брать для большей категории.

Таблица 1. Длины переходных кривых и радиусы круговых кривых для примыканий и пересечений автомобильных дорог

Категория главной дороги	Радиус круговой кривой, м	Длина переходных кривых, м	
		Первая кривая	Вторая кривая
I	30	20	20
II	30	20	20
III	25	15	15
IV, V	25	15	15

При использовании данных рекомендаций динамический коридор увеличивается за счет уменьшения величины внутренней кривой (радиуса) островка безопасности и за счет обочины. При таких схемах возможно устройство обочины шириной до 1,5 м на кривых примыкания. Это, в свою очередь, позволяет увеличить величину динамического коридора с минимальными затратами, необходимыми на устройство твердого покрытия.

Динамический коридор – полоса движения автопоезда. На прямолинейных участках она равна ширине кузова автопоезда, на криволинейных участках – ширине кузова автопоезда плюс величина смещения прицепа (полуприцепа). Размер увеличения динамического коридора по сравнению с устройством примыкания с помощью круговой кривой отражено в таб. 2 и на рис. 4.

Таблица 2. Величина увеличения динамического коридора

Тип пересечения	Величина динамического коридора при построении примыкания с помощью круговой кривой, м	Величина динамического коридора при построении примыкания с помощью круговой кривой и двух переходных кривых, м
1	4,5	7,5
2	4,5	8,2

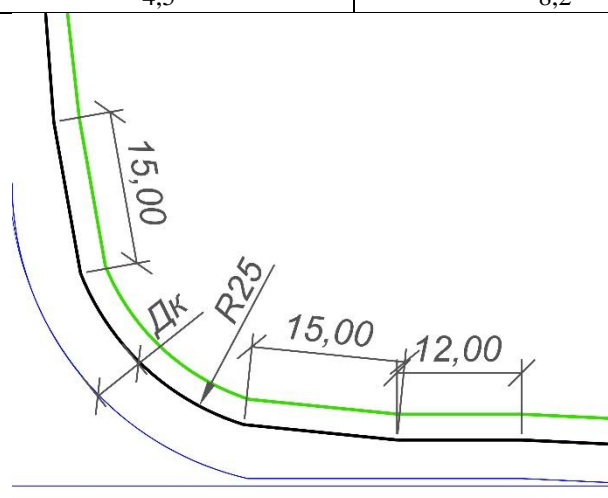


Рис. 4. Схематическое изображение динамического коридора.

3. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ РАЗМЕРЫ ОСТРОВКОВ БЕЗОПАСНОСТИ

Во время совершения маневра автопоезд движется и по островкам безопасности. Это хорошо, если островки безопасности выполнены в разметке, а не с повышением бортового камня, так как в последнем случае возможен наезд на бортовой камень, что может привести к опрокидыванию автомобиля. Островок безопасности должен направлять транспортные потоки, а не препятствовать направлению движения.

Поэтому целесообразно разработать геометрию островков безопасности, которая соответствовала бы траектории движения автопоезда (рис. 5).

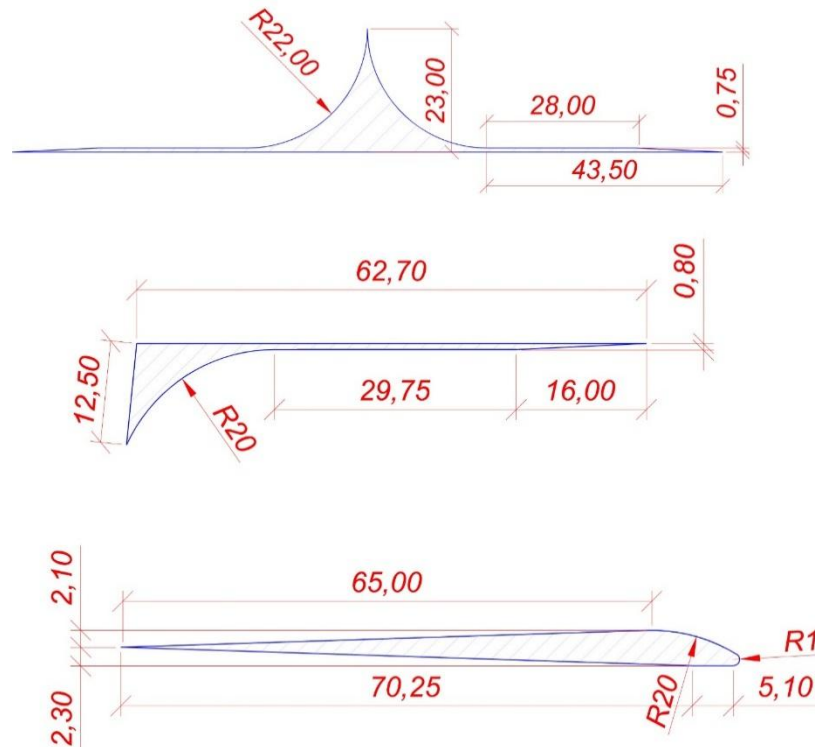


Рис. 5. Геометрические параметры островков безопасности.

Данные типы островков безопасности имеют геометрические размеры, которые меньше, чем запроектированные в соответствии с нормативными документами. Это связано с увеличением динамического коридора. При этом уменьшается стоимость производимых работ – уменьшается расход краски для устройства разметки или устройство бордюрного камня.

4. УШИРЕНИЕ НА ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ КРИВЫХ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ШИРИНЫ СЪЕЗДА РАЗВЯЗОК В РАЗНЫХ УРОВНЯХ

При проезде развязок в разных уровнях крупногабаритными транспортными средствами могут возникнуть осложнения, связанные с проездом по двухполосному съезду. Как известно, при проектировании двухполосного съезда, согласно ДБН В.2.3-4-2007⁹ необходимо расширить полосы движения (каждая 3,75). Как правило, съезды проектируются с минимальными радиусами, чтобы уменьшить стоимость строительства. Поэтому целесообразно определить оптимальные величины уширения на кривых, опираясь на современный подвижной состав. При этом следует ориентироваться не на легковые автомобили, а на автопоезда, которые

⁹ Автомобільні дороги. Споруди транспорту: ДБН В.2.3-4-2015, частина I: Проектування, частина II: Будівництво, Мінрегіонбуд України, Київ 2015.

при проезде могут разрушить обочины, если не обеспечить необходимой ширины ГПД для их проезда.

Величину уширения на кривой можно определить (2):

$$C = B_{кр} - B_{пр} \quad (2)$$

где C - уширения на кривой;

$B_{кр}$ - ширина полосы движения на кривой;

$B_{пр}$ - ширина полосы движения на прямом участке.

Ширина полосы движения на кривой определяется (3), рис. 6.

$$B_{кр} = N(b + a + z + d) \quad (3)$$

где N - количество полос движения;

b - ширина кузова автопоезда;

a - величина смещения прицепа;

z - ширина полосы безопасности к внешней стороне кривой;

d - ширина полосы безопасности к внутренней стороне кривой.

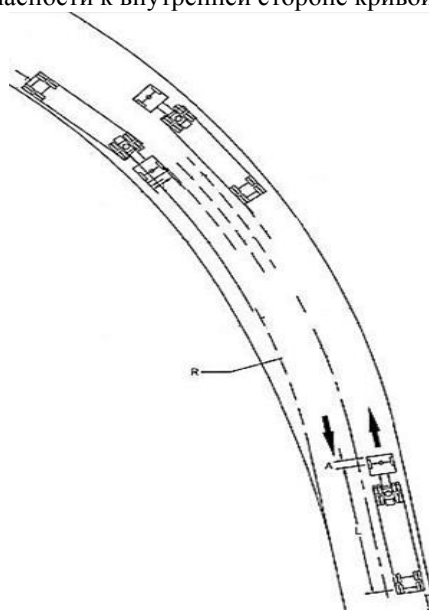


Рис. 6. Схема движения автопоездов на многополосном съезде.

Основываясь на указанном выше, можно рассчитать уширение на кривой с учетом проезда автопоезда на съезде для определенных радиусов. Результаты расчета приведены в табл. 3.

Таблица 3. Размер уширения кривой на одну полосу движения

Радиус кривой в плане, м	1000	850	600	450	350	200	150	95-30
Величина уширения, м	0,3	0,4	0,5	0,7	1,2	1,5	1,75	2,0

Как следует из данной таблицы, величина уширения несколько больше, чем в действующих нормативных документах [8].

5. ВЫВОДЫ

При проектировании геометрических элементов автомобильных дорог, особенно, на пересечениях и примыканиях, должен учитываться фактор наличия крупногабаритных транспортных средств в современных транспортных потоках. В результате проведенных исследований предложена методика построения траектории движения автопоездов при совершении маневра поворота. На основании проведенных исследований разработаны рекомендации по определению геометрических элементов дорожных развязок в одном и разных уровнях с учетом движения крупногабаритных транспортных средств, а также рекомендации по геометрическим параметрам островков безопасности. Разработанные рекомендации позволяют повысить уровень управления и безопасности движением транспортных потоков.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Erkert T.W., *Computer simulation of offtracking of truck and trailer combinations using forest roads*, Department of Civil Engineering Oregon State University Publ., Oregon State 1989.
- [2] Harwood D.W., Potts I.B., Torbic D.J., *Highway/Heavy Vehicle Interaction*, TRANSPORTATION RESEARCH BOARD Publ., Washington 2003.
- [3] IRU, *Научное исследование. Причины дорожно-транспортных происшествий с участием грузовых автомобилей в Европе: Краткий обзор и рекомендации*, Международный союз автомобильного транспорта, Швейцария 2007.
- [4] *Автомобільні дороги. Споруди транспорту: ДБН В.2.3-4-2015, частина I: Проектування, частина II: Будівництво*, Мінрегіонбуд України, Київ 2015.
- [5] Закин Я.Х., *Прикладная теория движение автопоезда*, ТРАНСПОРТ, Москва 1967.
- [6] Попов С.Д., *Об одном из возможных подходов к управлению маневром многосвязных колесных платформ*, Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана: электронное издание, Москва 2013.
- [7] Сахно В.П., *Аналіз стійкості і маневреності сідельного автопоїзда з системою управління кутами складання його ланок*, „Автошляховик України. Окремий випуск. Вісник ЦНЦ ТАУ” 2006/9.
- [8] Хомяк А.Я., Шкит Н.А., *Особенности движения грузового транспорта в транспортных узлах*, „Национальный транспортный университет” 2015/31, с. 545–554.

THE INFLUENCE OF MOTION PATH ROAD TRAINS ON THE GEOMETRICAL PARAMETERS OF ROAD JUNCTIONS

The paper presents a method of constructing the trajectory trains movement while performing turning maneuvers. On disordered crossroads where the curve radii of the plan does not meet the requirements of the movement of modern large vehicles, drivers moving along the main road, before implementing right turn maneuver forced most to reduce speed, shift into the oncoming lane, to

carry out the rotation, ending it as well on the strip oncoming traffic secondary roads. If there is on this road standing in the queue for pivoting maneuver of the vehicle at the intersection traffic flow may be completely paralyzed. The probability of congestion and long-term downtime increases, if the width of the roadway secondary road is less than 6 m. Destination type radii at intersections and junctions, while the main type of rounding applied arc, which is represented by a circular curve without any additional transient curves do not meet modern conditions of movement of vehicles. It is known that when driving on different curvature of the wheel of the car moving along the trajectories of different radii and cannot describe the curve of constant radius. Overall lane (GPA) is quite complicated, as the trajectory of large vehicles requires its own study.

The paper presents the results of a study of the trajectory of motion trains when changing direction. Also, the method for determining the trajectory of movement of trains was proposed. The recommendations on the design elements of the geometric parameters of road junctions in one and different levels.

Keywords: road junctions in one level road junctions at different levels, the trajectory, trailer, traffic island

DOI: 10.7862/rz.2016.mmr.21

Tekst złożono w redakcji: kwiecień 2016

Przyjęto do druku: wrzesień 2016