

Д. Н. Самисько, канд. техн. наук

Автомобильно-дорожный институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Донецкий национальный технический университет»
в г. Горловка

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МАНЕВРА АВТОМОБИЛЯ ПРИ ОБГОНЕ С ВОЗРАСТАЮЩЕЙ СКОРОСТЬЮ

Усовершенствована методика определения параметров маневра обгона с возрастающей скоростью, основанная на имитационном моделировании движения обгоняющего автомобиля. В отличие от существующей, данная методика позволяет определять скорости и время движения обгоняющего автомобиля на основании компьютерного моделирования его движения.

Ключевые слова: автомобиль, имитационное моделирование движения автомобиля, маневр обгона автомобиля, скорость движения автомобиля, траектория движения автомобиля

Введение

Обгон представляет собой сложный и опасный маневр, вызванный желанием водителя двигаться без потерь времени. Трудности правильного выполнения обгона в сочетании с высокой скоростью требуют от водителя безошибочного расчета и точных действий по управлению автомобилем.

Усовершенствованная методика определения параметров маневра обгона с возрастающей скоростью, основанная на имитационном моделировании движения обгоняющего автомобиля позволит повысить качество определения параметров данного обгона. В дальнейшем данное исследование может стать основой разработки перспективной интеллектуальной транспортной системы города, в которой движение каждого автомобиля будет смоделировано исходя из возможности безопасного движения в конкретных дорожных условиях.

Анализ публикаций

В современных исследованиях [1–3] маневр обгона разделяют на три фазы: отклонение обгоняющего слева автомобиля и выезд на соседнюю полосу движения; движение влево от обгоняемого автомобиля и впереди него; возвращение обгоняющего автомобиля на свою полосу впереди обгоняемого автомобиля.

Для простоты расчетов в существующих исследованиях время, затрачиваемое на поперечный сдвиг обгоняющего автомобиля и переход его с одной полосы движения на другую, не учитывают, потому что это время незначительное по сравнению с общим временем обгона. Не учитывают и увеличение пути автомобиля, вызванное этим сдвигом. Прежде всего данные упрощения связаны с достаточно большой трудоемкостью расчета криволинейного движения автомобиля по сравнению с прямолинейным.

При построении схемы-графика обгона при разгоне обгоняющего автомобиля в соответствии с существующей методикой [1] необходимо сначала построить график интенсивности разгона, характеризующий зависимость между временем и путем движения автомобиля при ускоренном движении. Его можно построить по результатам аналитического расчета времени разгона t_p от пути разгона S_p по уравнениям [1]:

$$t_p = \int_{v_0}^v \frac{D_C dV}{-A_C V^2 + B_C V + C_C} = \frac{D_C}{E_C} \cdot \ln \left| \frac{(-A_C V + B_C - E_C) \cdot (-A_C V_0 + B_C + E_C)}{(-A_C V_0 + B_C - E_C) \cdot (-A_C V + B_C + E_C)} \right|, \text{ с}, \quad (1)$$

где A_C , B_C , C_C , D_C и E_C определяются по формулам:

$$A_C = \frac{N_{e\max} \cdot \eta_{mp}}{V_N^3} c_M + \frac{G \cdot f_0}{a_k} + W_g; \quad (2)$$

$$B_C = \frac{N_{e\max} \cdot \eta_{mp} \cdot b_M}{V_N^2}; \quad (3)$$

$$C_C = \frac{N_{e\max} \cdot \eta_{mp}}{V_N} a_M - G \cdot (f_0 + \sin \alpha_\partial); \quad (4)$$

$$D_C = m \cdot \delta_{ep}; \quad (5)$$

$$E_C = \sqrt{B_C^2 - 4 \cdot A_C \cdot C_C}, \quad (6)$$

где V_0 – начальная скорость движения обгоняющего автомобиля, м/с;

V – максимальная скорость движения обгоняющего автомобиля, м/с;

$N_{e\max}$ – максимальная мощность двигателя обгоняющего автомобиля, кВт;

η_{mp} – коэффициент полезного действия трансмиссии обгоняющего автомобиля;

a_M, b_M, c_M – эмпирические коэффициенты;

V_N – скорость движения обгоняющего автомобиля, соответствующая максимальной мощности двигателя, м/с;

G – вес обгоняющего автомобиля, Н;

f_0 – коэффициент сопротивления качению при малых скоростях движения;

a_k – эмпирический коэффициент, зависящий от типа шин;

W_g – фактор обтекаемости обгоняющего автомобиля, Н·с²/м²;

α_∂ – угол продольного уклона дороги;

m – масса обгоняющего автомобиля, т;

δ_{ep} – коэффициент учета вращающихся масс.

$$S_p = -\frac{D_C}{2A_C} \cdot \left\{ \ln \left| \frac{-2A_C V^2 + B_C V + C_C}{-2A_C V_0^2 + B_C V_0 + C_C} \right| - \frac{B_C}{E_C} \cdot \ln \left| \frac{(-2A_C V + B_C - E_C) \cdot (-2A_C V_0 + B_C + E_C)}{(2A_C V_0 + B_C - E_C) \cdot (-2A_C V + B_C + E_C)} \right| \right\}, \text{ м.} \quad (7)$$

Анализ зависимостей (1)–(7) позволяет выявить ряд присущих им недостатков:

- при определении времени и скорости движения обгоняющего автомобиля, движущегося с возрастающей скоростью, не учитываются изменяющиеся дорожные условия;
- разгон обгоняющего автомобиля, движущегося с возрастающей скоростью, осуществляется с максимально возможным из его технических характеристик ускорением, что не всегда достижимо в реальных условиях;
- определение параметров обгона сопряжено с большим количеством трудоемких расчетов.

Устранить выявленные недостатки возможно с применением имитационного моделирования движения автомобилей.

Цель работы

Усовершенствовать методику определения параметров маневра обгона с возрастающей скоростью за счет разработки имитационной модели движения обгоняющего автомобиля.

Основная часть

Для любого участка дороги характерно наличие определенных дорожных условий. К ним относятся:

- продольные уклоны участка;
- радиусы кривых в плане;
- коэффициент поперечного сцепления колеса с дорогой;
- коэффициент сопротивления качению;
- поперечный уклон проезжей части и т. д.

Все эти условия оказывают влияние на режим движения как обгоняемого, так и обгоняющего автомобилей.

Однако обгоняемый автомобиль, чаще всего, движется с постоянной скоростью, поэтому влияние дорожных условий на его режим движения в работе не рассматривается.

Рассмотрим процесс движения обгоняющего автомобиля.

На первом этапе обгоняющий автомобиль выезжает на полосу встречного движения. Схема движения обгоняющего автомобиля на этом этапе представлена на рисунке 1.

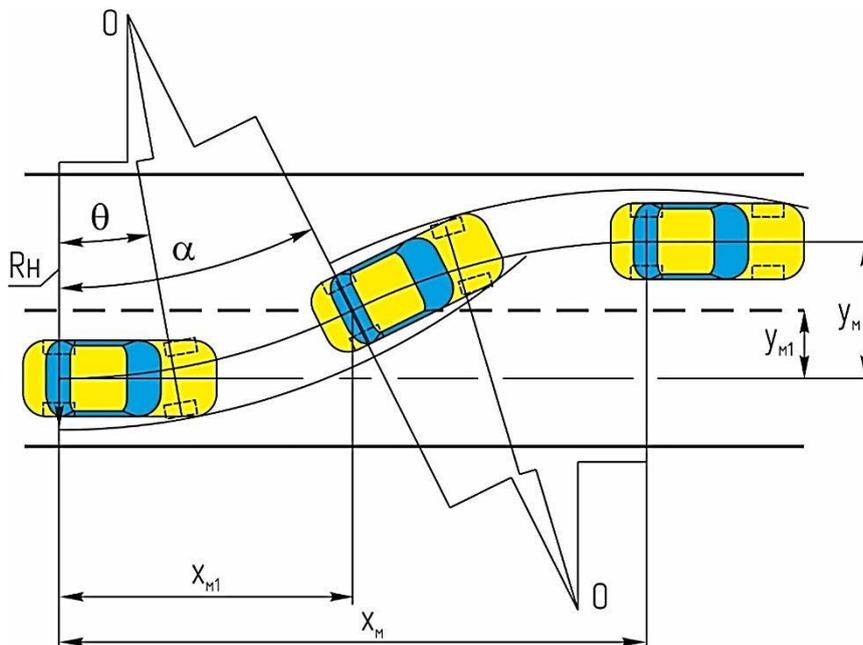


Рисунок 1 – Схема движения обгоняющего автомобиля на первом этапе обгона

Из рисунка 1 видно, что траекторию движения обгоняющего автомобиля на первом этапе обгона можно разбить на две части:

- автомобиль движется с колесами, повернутыми на угол θ налево по радиусу R_n .

При этом автомобиль совершает круговое движение на угол α ;

- автомобиль движется с колесами, повернутыми на угол θ направо по радиусу R_n .

При этом автомобиль совершает круговое движение также на угол α .

Из рисунка 1 видно, что на первом этапе маневра обгона обгоняющий автомобиль совершает перемещение в горизонтальной плоскости на расстояние x , м, а в вертикальной плоскости – на расстояние y , м. При этом траектории движения автомобиля в начале и в конце данного этапа обгона параллельны.

Известно, что при выполнении маневра смены полосы перемещения автомобиля могут быть определены по зависимостям [1]:

$$x_m = 4 \cdot V \cdot T_1, \text{ м}; \quad (8)$$

$$y_m = 2 \cdot g \cdot \varphi_y \cdot T_1^2, \text{ м}, \quad (9)$$

где V – скорость движения обгоняющего автомобиля в начале маневра обгона, м/с;

T_1 – время поворота управляемых колес при входе в поворот автомобиля, которое

определяется по зависимости [1]:

$$T_1 = \frac{g \cdot L \cdot \varphi_y}{V^2 \cdot \theta_1}, \quad (10)$$

где θ_1 – угловая скорость поворота управляемых колес, рад/с. Во избежание заноса или опрокидывания при повороте автомобиля и исходя из психологических возможностей водителя принимают $\theta_1 = 0,2-0,3$ рад/с для легковых автомобилей и $\theta_1 = 0,15-0,3$ рад/с для грузовых автомобилей и автобусов;

φ_y – коэффициент сцепления шины с дорогой в поперечной плоскости;

L – база автомобиля, м.

Также известно, что в средней точке маневра (второй автомобиль на рисунке 1) горизонтальное и вертикальное смещения обгоняющего автомобиля могут быть определены по зависимостям [1]:

$$x_{.m1} = 2 \cdot V \cdot T_1, \text{ м}; \quad (11)$$

$$y_{.m1} = g \cdot \varphi_y \cdot T_1^2 \text{ м}. \quad (12)$$

В данном положении автомобиль будет повернут по отношению к первоначальному положению на угол [1]:

$$\gamma_{.m1} = \frac{g \cdot \varphi_y \cdot T_1}{V}. \quad (13)$$

Величина радиуса круговой кривой, по которой осуществляет движение обгоняющий автомобиль на первом этапе маневра обгона может быть определена по формуле

$$R = \frac{L}{\sin \theta}, \text{ м}. \quad (14)$$

Из рисунка 1 видно, что перемещение обгоняющего автомобиля в вертикальной плоскости на первом этапе маневра обгона должно быть равным ширине полосы движения B_n .

С целью определения длины пути, преодолеваемого обгоняющим автомобилем во время первого этапа маневра обгона, рассмотрим треугольник ABC, изображенный на рисунке 2.

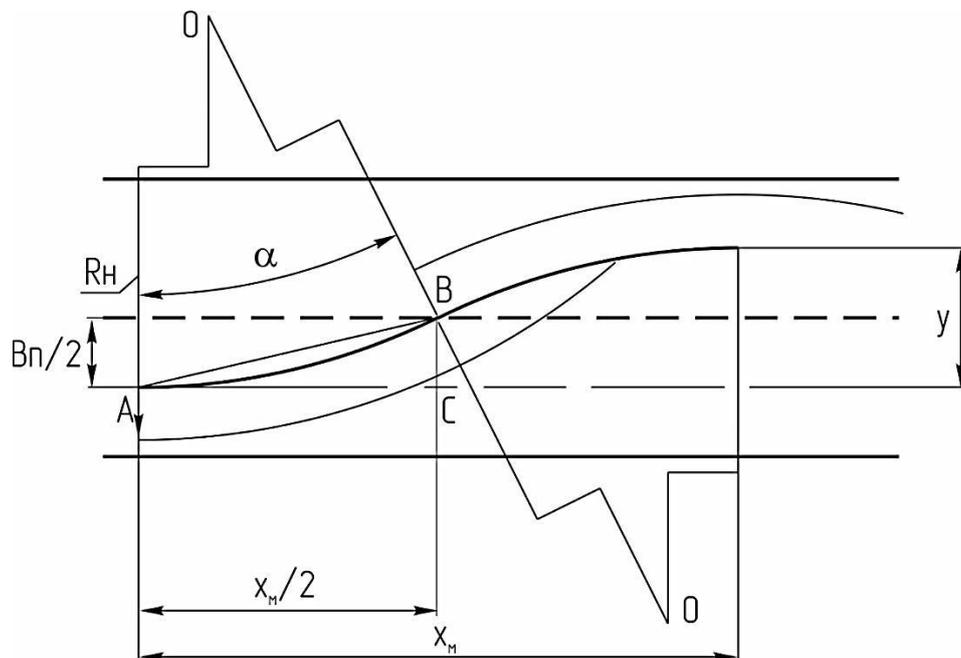


Рисунок 2 – Схема определения длины пути, преодолеваемого обгоняющим автомобилем во время первого этапа обгона

Дуга АВ является хордой, на окружности радиусом $(R - B/2)$, где B – ширина обгоняющего автомобиля, м. Длина дуги может быть определена по формуле

$$l_{AB} = \frac{\pi \cdot R \cdot \alpha}{180}, \text{ м}, \quad (15)$$

$$\text{где } \alpha = \arcsin \frac{AB}{2R}, \text{ рад}, \quad (16)$$

$$\text{где } AB = \sqrt{\left(\frac{x_m}{2}\right)^2 + \left(\frac{B_n}{2}\right)^2}, \text{ м}. \quad (17)$$

Процесс возврата обгоняющего автомобиля на свою полосу может быть описан таким же образом. Скоростью движения обгоняющего автомобиля в начале возврата на свою полосу будем считать скорость в момент, когда обгоняющий автомобиль опередил обгоняемый на величину дистанции безопасности.

После выезда обгоняющего автомобиля на полосу встречного движения он движется по ней с возрастающей скоростью. При этом существующая методика при определении скорости, времени и пути движения обгоняющего автомобиля учитывает только его технические характеристики. Принимается, условно, что обгоняющий автомобиль разгоняется на прямом, ровном участке и вся мощность двигателя расходуется только на разгон. В реальности дорожные условия практически всегда отличаются от тех, которые принимаются в существующей методике. Наличие на реальной дороге продольных уклонов, радиусов кривых в плане, поперечных уклонов проезжей части сказывается на скорости обгоняющего автомобиля и в конечном счете – на параметрах маневра обгона с возрастающей скоростью.

Автором была разработана компьютерная программа «Расчеты скоростей и времени движения» [4]. Целью создания этого программного продукта являлось моделирование движения автомобилей. Эта программа разработана на основании алгоритмов моделирования скоростей движения, описанных в [5, 6], которые позволяют определять время проезда автомобилем участка дороги при заданных дорожных условиях, параметрах транспортного средства и существующей организации дорожного движения.

Таким образом, применение результатов имитационного моделирования движения обгоняющего автомобиля позволяет предложить усовершенствованную методику определения параметров маневра обгона с возрастающей скоростью. Последовательность этапов данной методики представлена на рисунке 3.

В отличие от существующей, предложенная методика позволяет учитывать параметры транспортных средств и дорожные условия, сложившиеся на характерных однородных участках пути обгона. Полученные в результате компьютерного моделирования значения скоростей и времени движения по отдельным характерным однородным участкам участка обгона позволяют определить параметры маневра обгона с возрастающей скоростью, которые базируются на реальных динамически меняющихся исходных данных.

Во время проведения эксперимента исследовались два перегона городских магистралей, расположенные в городе Горловке: перегон по улице Интернациональной от площади Восстания до примыкания к улице Интернациональной улицы Горловской Дивизии; перегон по улице Кузнецова-Зубарева от примыкания к ней улицы Шевченко до съезда с путепровода. На каждом перегоне были проведены моделирования движения автомобиля Renault Logan 1,4, движущегося с возрастающей скоростью. Начальную скорость движения автомобиля Renault Logan 1,4 принимали 15,5 м/с. В качестве обгоняемого автомобиля был принят Mitsubishi Pajero 3,8, движущийся с постоянной скоростью 13,2 м/с.

Результаты моделирования показали, что при условии учета реальных дорожных условий параметры обгона с возрастающей скоростью значительно отличаются от тех, которые получены с использованием существующей методики.

Так, для перегона, расположенного по улице Интернациональной от площади Восстания до примыкания к улице Интернациональной улицы Горловской Дивизии, общее время маневра обгона с возрастающей скоростью составило 29,04 с, что в 2,13 раза больше, чем время, полученное с использованием существующей методики (13,62 с). Путь обгона при использовании имитационного моделирования равен 600 м, что в 1,59 раза больше, чем путь, полученный с использованием существующей методики (376,36 м).

Для перегона, расположенного по улице Кузнецова-Зубарева от примыкания к ней улицы Шевченко до съезда с путепровода, общее время маневра обгона с возрастающей скоростью составило 33,4 с, что в 2,45 раза больше, чем время, полученное с использованием существующей методики (13,62 с). Путь обгона при использовании имитационного моделирования равен 639 м, что в 1,7 раза больше, чем путь, полученный с использованием существующей методики (376,36 м).



Рисунок 3 – Этапы методики определения параметров маневра обгона с возрастающей скоростью, основанной на имитационном моделировании движения обгоняющего автомобиля

Существенное отклонение между данными, полученными при использовании существующей и предлагаемой методик объясняется тем, что при использовании существующей методики делается допущение о движении обгоняющего автомобиля с максимально возможным ускорением по условно идеальному участку без радиусов, подъемов, с шероховатым, ровным покрытием и неограниченной ширине полосы движения. Применение предлагаемой методики позволяет учесть перечисленные данные и, таким образом, является более приближенной к реальности.

Заключение

Предложена усовершенствованная методика определения параметров маневра обгона с возрастающей скоростью, основанная на имитационном моделировании движения обгоняющего автомобиля, позволяющая повысить качество определения параметров данного обгона.

Применение предложенной методики для реальных автомобилей, движущихся по реальным участкам, показало, что полученные параметры маневра обгона существенно отличаются от тех, которые могут быть получены с применением существующей методики. Объясняется это тем, что при использовании существующей методики делается допущение о движении обгоняющего автомобиля с максимально возможным ускорением по условно идеальному участку без радиусов, подъемов, с шероховатым, ровным покрытием и неограниченной шириной полосы движения.

В дальнейшем данное исследование может стать основой разработки перспективной интеллектуальной транспортной системы города, в которой движение каждого автомобиля будет смоделировано исходя из возможности безопасного движения в конкретных дорожных условиях.

Список литературы

1. Афанасьев, Л. Л. Конструктивная безопасность автомобиля / Л. Л. Афанасьев, А. Б. Дьяков, В. А. Иларионов. – Москва : Машиностроение, 1983. – 212 с.
2. Безопасность транспортных средств (автомобили) / В. А. Гудков, Ю. Я. Комаров, А. И. Рябчинский, В. Н. Федотов. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2010. – 431 с. – ISBN 978-5-9912-0090-5.
3. Молодцов, В. А. Безопасность транспортных средств / В. А. Молодцов ; М-во образования и науки Российской Федерации, ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет». – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. – 235 с. – ISBN 978-5-8265-1222-7.
4. Самисько, Д. Н. Определение потоков насыщения на основании компьютерного моделирования движения транспортного потока / Д. Н. Самисько // Вести Автомобильно-дорожного института = Bulletin of the Automobile and Highway Institute. – 2020. – № 2(33). – С. 19–29.
5. Самисько, Д. М. Моделивання процесу дорожнього руху транспортного засобу і-ю характерною однорідною ділянкою маршруту / Д. М. Самисько // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. – 2011. – № 3. – С. 38–46.
6. Самисько, Д. М. Алгоритм моделювання процесу дорожнього руху транспортного засобу / Д. М. Самисько // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – Т. 1, № 4(55). – С. 43–50.

Д. Н. Самисько

Автомобильно-дорожный институт (филиал)

***федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Донецкий национальный технический университет» в г. Горловка
Методика определения параметров маневра автомобиля при обгоне
с возрастающей скоростью***

Усовершенствована методика определения параметров маневра обгона с возрастающей скоростью, основанная на имитационном моделировании движения обгоняющего автомобиля. В отличие от существующей, данная методика позволяет определять скорости и время движения обгоняющего автомобиля на основании компьютерного моделирования его движения.

При моделировании учитываются дорожные условия, технические характеристики обгоняющего автомобиля, существующая организация дорожного движения.

Предложено движение обгоняющего автомобиля моделировать с помощью разработанной автором компьютерной программы «Расчет скорости и времени движения».

Применение предложенной методики для реальных автомобилей, движущихся по реальным участкам, показало, что полученные параметры маневра обгона существенно отличаются от тех, которые могут быть получены с применением существующей методики. Объясняется это тем, что при использовании существующей методики делается допущение о движении обгоняющего автомобиля с максимально возможным ускорением по условно идеальному участку без радиусов, подъемов, с шероховатым, ровным покрытием и неограниченной ширине полосы движения.

АВТОМОБИЛЬ, ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ, МАНЕВР ОБГОНА АВТОМОБИЛЯ, СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ, ТРАЕКТОРИЯ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ

D. N. Samisko

Automobile and Road Institute (Branch) of the Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Donetsk National Technical University» in Gorlovka

Determination Technique of the Vehicle Overtaking Maneuver with Increasing Speed

The determination technique of the vehicle overtaking maneuver with increasing speed based on the simulation modelling of an overtaking car motion is improved. Unlike the existing one, this technique allows you to determine the speed and time of an overtaking car motion based on the computer simulation of its movement.

When modelling, road conditions, technical characteristics of the overtaking car, and the existing traffic organization are taken into account.

The proposed simulation of an overtaking car motion is carried out in the computer program «Calculation of speed and time of movement» developed by the author.

The application of the proposed technique for real cars moving along real sections showed that the obtained parameters of the overtaking maneuver differ significantly from those that can be obtained using the existing technique. This is explained by the fact that when using the existing technique, an assumption is made about the motion of an overtaking car with the maximum possible acceleration along a conditionally ideal section without radii, ascents, with a rough, smooth surface and unlimited lane width.

CAR, CAR MOTION SIMULATION, CAR OVERTAKING MANEUVER, CAR SPEED, CAR TRAJECTORY

Сведения об авторе:

Д. Н. Самисько

SPIN-код РИНЦ: 6088-4257

Телефон: +7 949 318-99-61

Эл. почта: sdn1982@yandex.ru

Статья поступила 11.03.2024

© Д. Н. Самисько, 2024

*Рецензент: Н. Н. Дудникова, канд. техн. наук, доц.,
Автомобильно-дорожный институт
(филиал) ДонНТУ в г. Горловка*