

DOI: 10.15593/24111678/ 2018.04.01

УДК 656.11.085

О.В. Алексеева, Н.А. Филатова

Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ С УЧЕТОМ ГАБАРИТОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Тема статьи относится к безопасности дорожного движения в случае движения транспортных средств по пересекающимся траекториям. Среди множества видов пересечений траекторий движения наиболее сложными для проведения экспертизы дорожно-транспортного происшествия являются ситуации, когда транспортные средства движутся по траекториям, пересекающимся под острым или тупым углом.

Возможность возникновения дорожно-транспортного происшествия зависит от нахождения транспортных средств в опасной зоне, образованной пересечением траекторий движения транспортных средств. При проведении экспертиз дорожно-транспортных происшествий с участием транспортных средств, двигавшихся по траекториям, пересекающимся под острым или тупым углом, необходимо учитывать габариты транспортного средства.

Моделирование дорожно-транспортных происшествий транспортных средств, двигавшихся по траекториям, пересекающимся под острым или тупым углом, с учетом габаритов транспортного средства показало, что дорожно-транспортные происшествия возможны только при одновременном нахождении транспортных средств в опасной зоне, математической моделью которой является параллелограмм.

В указанных случаях места столкновений транспортных средств будут находиться на сторонах параллелограмма, образующих угол между отрезками, через которые транспортное средство попадает в зону параллелограмма.

Ключевые слова: движение транспортных средств, габариты транспортных средств, опасная зона, безопасность движения, дорожно-транспортное происшествие.

O.V. Alekseeva, N.A. Filatova

Ural State Forestry Engineering University, Ekaterinburg, Russian Federation

MATHEMATICAL MODELING OF THE MECHANISM OF ROAD ACCIDENTS TAKING INTO ACCOUNT DIMENSIONS OF VEHICLES

The subject of article refers to traffic safety related to the traffic of vehicles along crossed trajectories. Among the many types of crossings of movement trajectories the situations when vehicles move along trajectories which are crossed at an acute or obtuse angle are the most difficult for carrying out examination of a road accident.

The possibility of a road accident depends on a location of vehicles in the dangerous zone formed by crossing of vehicles' traffic trajectories taking into account vehicles' dimensions.

Keywords: traffic of vehicles, dimensions of vehicles, dangerous zone, traffic safety, road accident.

В 2017 г. в Российской Федерации произошло 169 432 дорожно-транспортных происшествия, в результате которых погибло 19 088 человек, а 215 374 человека получили ранения.

Поскольку эксперименты с дорожно-транспортными происшествиями, как правило, не проводятся, исследование механизма дорожно-транспортных происшествий производят на основе математического моделирования [1–8].

Прямолинейное движение транспортных средств ТС1 и ТС2 (рис. 1, 2) на отрезке времени $[0, \bar{t}]$ может быть описано системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dV_{ТС1}(t)}{dt} = a_{ТС1}(t); \\ \frac{dS_{ТС1}(t)}{dt} = V_{ТС1}(t), \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \frac{dV_{TC2}(t)}{dt} = a_{TC2}(t); \\ \frac{dS_{TC2}(t)}{dt} = V_{TC2}(t), \end{cases} \quad (2)$$

с начальными условиями

$$\begin{cases} V_{TC1}(0) = V_{TC1}^0; \\ S_{TC1}(0) = 0, \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} V_{TC2}(0) = V_{TC2}^0; \\ S_{TC2}(0) = 0; \end{cases} \quad (4)$$

где V – скорость транспортного средства; V^0 – начальная скорость транспортного средства; a – ускорение транспортного средства; S_{TC2} – путь, пройденный транспортным средством; t – время.

Решение системы уравнений (1) с начальными условиями (3) будет иметь вид

$$\begin{cases} V_{TC1}(t) = V_{TC1}^0 + \int_0^t a_{TC1}(\tau) d\tau; \\ S_{TC1}(t) = V_{TC1}^0 t + \int_0^t \int_0^{\tau} a_{TC1}(\sigma) d\sigma d\tau. \end{cases}$$

Решение системы уравнений (2) с начальными условиями (4) будет иметь вид

$$\begin{cases} V_{TC2}(t) = V_{TC2}^0 + \int_0^t a_{TC2}(\tau) d\tau; \\ S_{TC2}(t) = V_{TC2}^0 t + \int_0^t \int_0^{\tau} a_{TC2}(\sigma) d\sigma d\tau. \end{cases}$$

Как известно, большое число дорожно-транспортных происшествий совершается на пересечениях [9–12]. Особенно большое затруднение при проведении экспертизы дорожно-транспортных происшествий представляют пересечения траекторий движения транспортных средств под острыми или тупыми углами (см. рис. 1, 2).

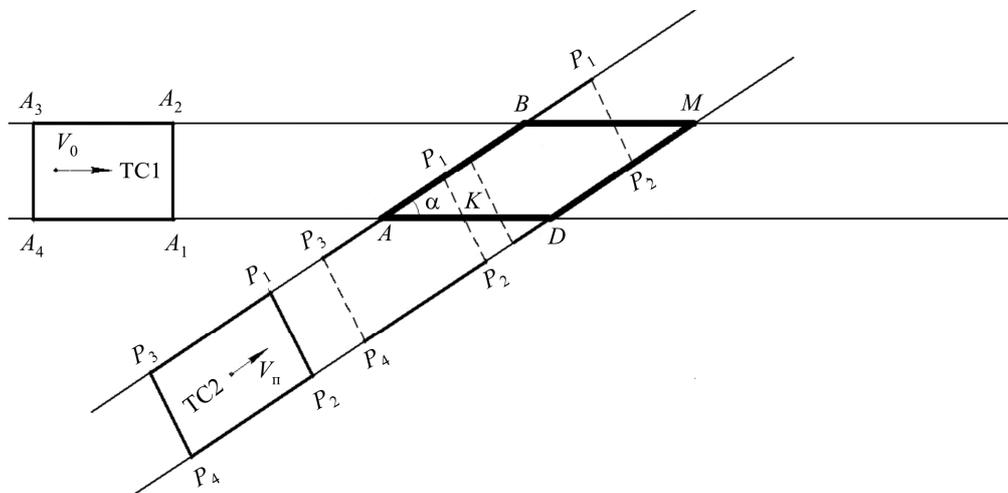


Рис. 1. Схема движения транспортных средств по траекториям, пересекающимся под острым углом

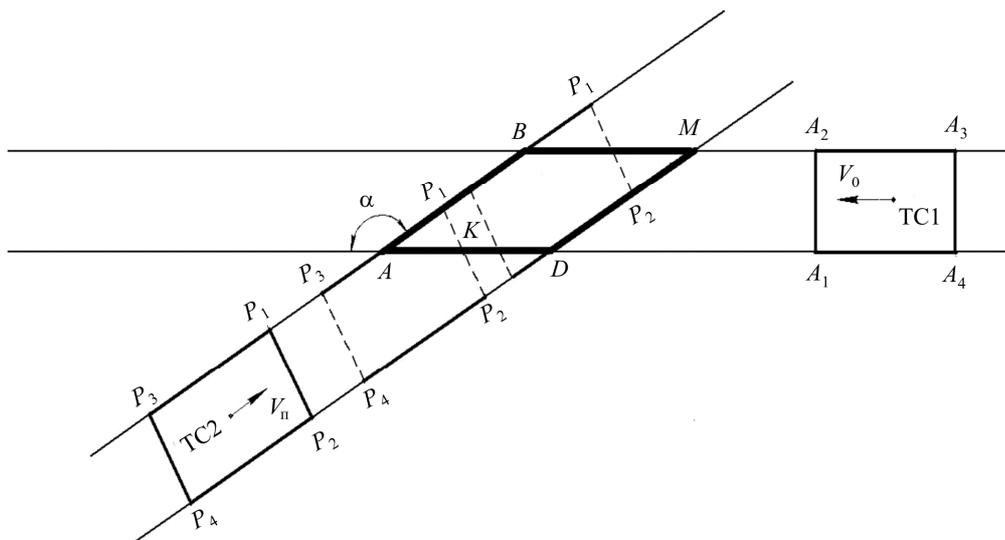


Рис. 2. Схема движения транспортных средств по траекториям, пересекающимся под тупым углом

Из рис. 1, 2 видно, что пересечение траекторий движения транспортных средств с учетом их габаритов образует участок дороги в виде параллелограмма $\square ABMD$. Этот участок можно назвать «опасной зоной», так как только одновременное нахождение в ней двух транспортных средств может привести к дорожно-транспортному происшествию. В случае если одно из транспортных средств находится вне опасной зоны, а другое транспортное средство находится в ней, то дорожно-транспортное происшествие не произойдет.

Введем некоторые определения, которые понадобятся в дальнейших исследованиях.

Пусть TC1 и TC2 движутся таким образом, что каждое из них в некоторый свой момент времени τ_1^* и τ_2^* соответственно какой-либо частью своего корпуса попадает в параллелограмм $\square ABMD$, а в моменты времени τ_1^{**} и τ_2^{**} покидает параллелограмм $\square ABMD$ (см. рис. 1, 2). Это означает, что для $\forall t_1 \in (\tau_1^*, \tau_1^{**})$ TC1 какой-нибудь частью своего корпуса будет находиться в параллелограмме $\square ABMD$, а для $\forall t_2 \in (\tau_2^*, \tau_2^{**})$ TC2 какой-нибудь частью своего корпуса будет находиться в параллелограмме $\square ABMD$. Если будет выполняться условие

$$(\tau_1^*, \tau_1^{**}) \cap (\tau_2^*, \tau_2^{**}) \neq \emptyset,$$

то столкновение TC1 и TC2 неизбежно.

Определение 1. Будем говорить, что TC1 создает препятствие (является движущимся препятствием для TC2) на отрезке времени (τ_1^*, τ_1^{**}) для TC2, если начиная с момента времени τ_1^* TC1 частью своего корпуса попадает в параллелограмм $\square ABMD$ и, продолжая движение, какой-нибудь частью остается в параллелограмме $\square ABMD$ до момента времени τ_1^{**} , когда TC1 полностью покинет параллелограмм $\square ABMD$.

Точно так же можно сформулировать определение и для TC2.

Определение 2. Будем говорить, что TC2, попадая раньше TC1 в параллелограмм $\square ABMD$, создает препятствие (является движущимся или неподвижным препятствием для TC1) на отрезке времени (τ_2^*, τ_2^{**}) для TC1, если начиная с момента времени τ_2^* TC2 частью своего корпуса попадает в параллелограмм $\square ABMD$ и либо останавливается, либо, продолжая

движение, какой-нибудь частью остается в параллелограмме $\square ABMD$ до момента времени τ_2^{**} , когда ТС2 полностью покинет параллелограмм $\square ABMD$.

За начальный момент времени (момент возникновения опасности для движения) обычно принимается момент, когда одно из транспортных средств попадает в поле зрения другого водителя. В этом случае расчеты ведутся с учетом времени реакции водителя, значение которого сугубо индивидуально.

Величина времени реакции водителя может быть взята из табличных данных, представленных в работах [13–16]. Диапазон значений времени реакции водителя довольно значительный и колеблется от 0,3 до 1,4 с. Величина пути, пройденного транспортным средством за время реакции водителя при скорости движения 72 км/ч, будет находиться в пределах от 6 до 28 м.

Время реакции водителя можно определить экспериментальным путем. Но поскольку значение времени реакции зависит от психофизиологического состояния водителя, а оно в момент его экспериментального определения существенно отличается от того, каким было в момент возникновения опасности для движения, то полученное значение времени реакции не будет соответствовать тому значению, которое необходимо брать для расчетов при проведении экспертизы конкретного дорожно-транспортного происшествия.

Поэтому в данной работе за начальный момент времени момент обнаружения опасности для движения не принимается.

Ситуации, показанные на рис. 1, 2, существенно отличаются друг от друга. При рассмотрении схемы движения транспортных средств по траекториям, пересекающимся под острым углом в случае возникновения дорожно-транспортного происшествия, которое, как указано выше, произойдет в опасной зоне, места столкновений будут находиться на сторонах AB и AD параллелограмма $\square ABMD$.

А при рассмотрении схемы движения транспортных средств по траекториям, пересекающимся под тупым углом в случае возникновения дорожно-транспортного происшествия, которое, как указано выше, произойдет в опасной зоне, места столкновений будут находиться на сторонах AD и DM параллелограмма $\square ABMD$.

Выводы

1. При проведении экспертиз дорожно-транспортных происшествий с участием транспортных средств, двигавшихся по траекториям, пересекавшимся под острым или тупым углом, необходимо учитывать габариты ТС.

2. При рассмотрении движения транспортных средств с учетом их габаритов, из рис. 1, 2 видно, что дорожно-транспортное происшествие возможно только при одновременном нахождении транспортных средств в опасной зоне, математической моделью которого является параллелограмм $\square ABMD$, вне зависимости от того, какое транспортное средство прибывает в него первым и будет оставаться в зоне до прибытия второго.

3. При рассмотрении ситуации, представленной на рис. 1, дорожно-транспортные происшествия будут происходить на сторонах параллелограмма AB и AD .

4. При рассмотрении ситуации, представленной на рис. 2, дорожно-транспортные происшествия будут происходить на сторонах параллелограмма AD и DM .

Список литературы

1. Карев Б.Н., Сидоров Б.А., Недоростов П.М. Методы расчета безопасных расстояний при попутном движении транспортных средств. – Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. лесотехн. ун-та, 2005. – 315 с.

2. Карев Б.Н., Сидоров Б.А. Повышение безопасности эксплуатации автомобильного транспорта на основе математического моделирования. – Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. лесотехн. ун-та, 2010. – 506 с.

3. Суворов Ю.Б., Чава И.И. Экспертная оценка действий участников дорожного движения и иных лиц, ответственных за обеспечение его безопасности. – М.: РФЦСЭ при Минюсте России, 2008. – 142 с.
4. Домке Э.Р. Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий. – Пенза: Изд-во ПГУАС, 2016. – 240 с.
5. Гасилова О.С. Нахождение минимально-безопасного расстояния между прямолинейно движущимися транспортными средствами на регулируемых пересечениях // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2017. – № 4. – С. 49–63.
6. Highway Capacity Manual 2000 / Transportation Research Board, National Research Council. – Washington, D.C., USA, 2000. – 1134 p.
7. Branston D. Some factors affecting the capacity of signalized intersection // Traffic Eng. and Contr. – 1979. – Vol. 20, № 8–9. – P. 390–396.
8. Евтюков С.А., Тюлькин Е.В. Сравнение методов определения скорости движения транспортных средств при экспертизе ДТП // Автотранспортное предприятие. – 2015. – № 4. – С. 16–19.
9. Безопасность транспортных средств / В.А. Гудков, Ю.Я. Комаров, А.И. Рябчинский, В.Н. Федотов. – М.: Горячая линия–Телеком, 2010. – 431 с.
10. Филатова Н.А. Моделирование движения транспортных средств по пересекающимся траекториям // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2017. – № 4. – С. 123–134.
11. Повышение безопасности движения автомобилей на основе анализа аварийности и моделирования ДТП / В.А. Корчагин, С.А. Ляпин, В.Э. Клявин, В.В. Ситников // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 6–2. – С. 251–256.
12. Технические экспертизы на транспорте: учеб. пособие / под ред. Ю.Я. Комарова, Н.М. Зотова. – Волгоград, 2009. – 300 с.
13. Боровский Б.Е. Безопасность движения автомобильного транспорта. Анализ дорожных происшествий. – Л.: Лениздат, 1984. – 304 с.
14. Евтюков С.А., Васильев Я.В. Экспертиза ДТП. Методы и технологии / СПбГАСУ. – СПб., 2012. – 310 с.
15. Иларионов В.А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий. – М.: Транспорт, 1989. – 255 с.
16. Суворов Ю.Б. Судебная дорожно-транспортная экспертиза. – М.: Экзамен, 2003. – 208 с.

References

1. Karev B.N., Sidorov B.A., Nedorostov P.M. Metody rascheta bezopasnyh rasstoyanij pri poputnom dvizhenii transportnyh sredstv [Methods for calculating safe distances with the passing motion of vehicles]. Ekaterinburg, Ural State Forestry Engineering University, 2005, 315 p.
2. Karev B.N., Sidorov B.A. Povyshenie bezopasnosti jekspluatatsii avtomobil'nogo transporta na osnove matematicheskogo modelirovaniya [Increase of safety of operation of the motor transport on the basis of mathematical modeling]. Ekaterinburg, Ural State Forestry Engineering University, 2010, 506 p.
3. Suvorov YU.B., CHava I.I. Ehkspertnaya ocenka dejstvij uchastnikov dorozhnogo dvizheniya i inyh lic, otvetstvennyh za obespechenie ego bezopasnosti [Expert evaluation of the actions of road users and other persons responsible for ensuring its safety]. Moscow, Russian Federal Center for Forensic Science, 2008, 142 p.
4. Domke Je.R. Rassledovanie i jekspertiza dorozhno-transportnyh proisshestvij [Investigation and examination of road accidents]. Penza, PGUAS, 2016, 240 p.
5. Gasilova O.S. Nahozhdenie minimal'no-bezopasnogo rasstojanija mezhdru prjamolinejno dvizhushhimisja transportnymi sredstvami na reguliruemyh peresechenijah [Finding of minimum and safe distance between rectilinearly moving vehicles on adjustable crossings]. *Transport. Transport constructions. Ecology*, 2017, no 4, pp. 49–63.
6. Highway Capacity Manual 2000. Transportation Research Board, National Research Council. Washington, D.C., USA, 2000, 1134 p.
7. Branston D. Some factors affecting the capacity of signalized intersection. *Traffic Eng. and Contr.*, 1979, vol. 20, no. 8-9, pp. 390–396.
8. Evtjukov S.A., Tjul'kin E.V. Sravnenie metodov opredelenija skorosti dvizhenija transportnyh sredstv pri jekspertize DTP [Comparison of methods of determining the velocity of the vehicles in the examination of accident]. *Avtotransportnoe predpriyatie*, 2015, no. 4, pp. 16–19.

9. Gudkov V.A., Komarov Ju.Ja., Rjabchinskij A.I., Fedotov V.N. Bezopasnost' transportnyh sredstv [Safety of vehicles]. Moscow, The hot line - the Telecom, 2010, 431 p.
10. Filatova N.A. Modelirovanie dvizhenija transportnyh sredstv po peresekajushhimsja traektorijam [Modeling of the movement of vehicles on the crossed trajectories]. *Transport. Transport constructions. Ecology*, 2017, no 4, pp. 123–134.
11. Korchagin V.A., Ljapin S.A., Kljavin V.Je., Sitnikov V.V. Povyshenie bezopasnosti dvizhenija avtomobilej na osnove analiza avarijnosti i modelirovanija DTP [Improving the safety of movement of vehicles on the basis of the analysis of accidents and modelling of road accident]. *Fundamental'nye issledovanija*, 2015, no. 6–2, pp. 251–256.
12. Tehnicheskie jekspertizy na transporte [Technical expertizes on transport]. Ed. Ju.Ja. Komarova, N.M. Zotova. Volgograd, 2009, 300 p.
13. Borovskij B.E. Bezopasnost' dvizheniya avtomobil'nogo transporta. Analiz dorozhnyh proisshestvij [Road traffic safety. Analysis of traffic accidents]. Leningrad, Lenizdat, 1984, 304 p.
14. Evtyukov S.A., Vasil'ev YA.V. EHkspertiza DTP. Metody I tekhnologii [Examination of an accident. Methods and technologies]. Saint Petersburg, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 2012, 310 p.
15. Ilarionov V.A. Ehkspertiza dorozhno-transportnyh proisshestvij [Examination of road accidents]. Moscow, Transport, 1989, 255 p.
16. Suvorov YU.B. Sudebnaya dorozhno-transportnaya ehkspertiza [Forensic road examination]. Moscow, Ehkzamen, 2003, 208 p.

Получено 2.11.2018

Об авторах

Алексеева Ольга Викторовна (Екатеринбург, Россия) – старший преподаватель кафедры «Автомобильный транспорт» Института автомобильного транспорта и технологических систем Уральского государственного лесотехнического университета (620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, e-mail: alekseeva-ov@mail.ru).

Филатова Нина Александровна (Екатеринбург, Россия) – аспирант кафедры «Автомобильный транспорт» Института автомобильного транспорта и технологических систем Уральского государственного лесотехнического университета (620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, e-mail: nina.rezh@gmail.com).

About the authors

Olga V. Alekseeva (Ekaterinburg, Russian Federation) – Senior Lecturer, Department of Automobile Transport, Institute of Automobile Transport and Technological Systems, Ural State Forestry Engineering University (37, Sibirskiy trakt, 620100, Ekaterinburg, Russian Federation, e-mail: alekseeva-ov@mail.ru).

Nina A. Filatova (Ekaterinburg, Russian Federation) – Postgraduate Student, Department of Automobile Transport, Institute of Automobile Transport and Technological Systems, Ural State Forestry Engineering University (37, Sibirskiy trakt, 620100, Ekaterinburg, Russian Federation, e-mail: nina.rezh@gmail.com).