

УДК 625.7.032.3

Кристалльный Сергей Робертович, канд. техн. наук, доц.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, sportauto@rambler.ru
Топорков Максим Алексеевич, аспирант,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, makstoporkov@rambler.ru

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СЦЕПЛЕНИЯ ШИН С ДОРОГОЙ КАК СПОСОБА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ СТОЛКНОВЕНИЙ АВТОМОБИЛЕЙ

Аннотация. В статье описываются возможные причины снижения эффективности систем предотвращения столкновений автомобилей (СПСА). Предлагаются возможные направления решения данной проблемы. В частности, предлагается идея прогнозирования состояния дорожного покрытия, базирующаяся на ресурсах интеллектуальных транспортных систем.

Ключевые слова: интеллектуальные транспортные системы (ИТС), система автоматического торможения (САТ), система предотвращения столкновений автомобилей (СПСА), опережающие системы экстренного торможения (ОСЭТ), коэффициент сцепления.

Crystalny Sergey R., Ph. D., associate professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, sportauto@rambler.ru
Toporkov Maxim A., postgraduate,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, makstoporkov@rambler.ru

PREDICTION FACTOR TIRE GRIP, AS A WAY OF INCREASING THE EFFECTIVENESS OF CAR COLLISION AVOIDANCE SYSTEM

Abstract. This article describes the possible causes of reducing the effectiveness of car collision avoidance systems. It suggests possible ways of solving this problem. In particular, it proposed the idea of predicting the state of the road surface, based on the resources of intelligent transport systems.

Key words: Intelligent transport systems (ITS), automatic braking system (SAT), Car Collision Avoidance Systems (CCAS), leading emergency braking system (OSET), the coefficient of adhesion.

Введение

Увеличение общего количества автомобилей на дорогах приводит ко многим негативным последствиям. Одним из таких последствий является повышение уровня аварийности. Проблема аварийности имеет множество аспектов и представляет обширное поле деятельности автомобильных инженеров, специалистов по организации дорожного движения. Одно из наиболее бурно развивающихся направлений – разработка систем, которые позволили бы избежать аварий в различных дорожных ситуациях.

Согласно ежегодной статистике ГИБДД РФ (рис. 1), наиболее часто встречающимся видом дорожно-транспортных происшествий (ДТП) является столкновение транспортных средств (ТС). Второе место занимает наезд на пешеходов. Таким образом, можно сделать вывод о том, что разработка и внедрение систем предотвращения столкновений автомобилей (СПСА) является одним из приоритетных направлений в области повышения активной безопасности колесных ТС.

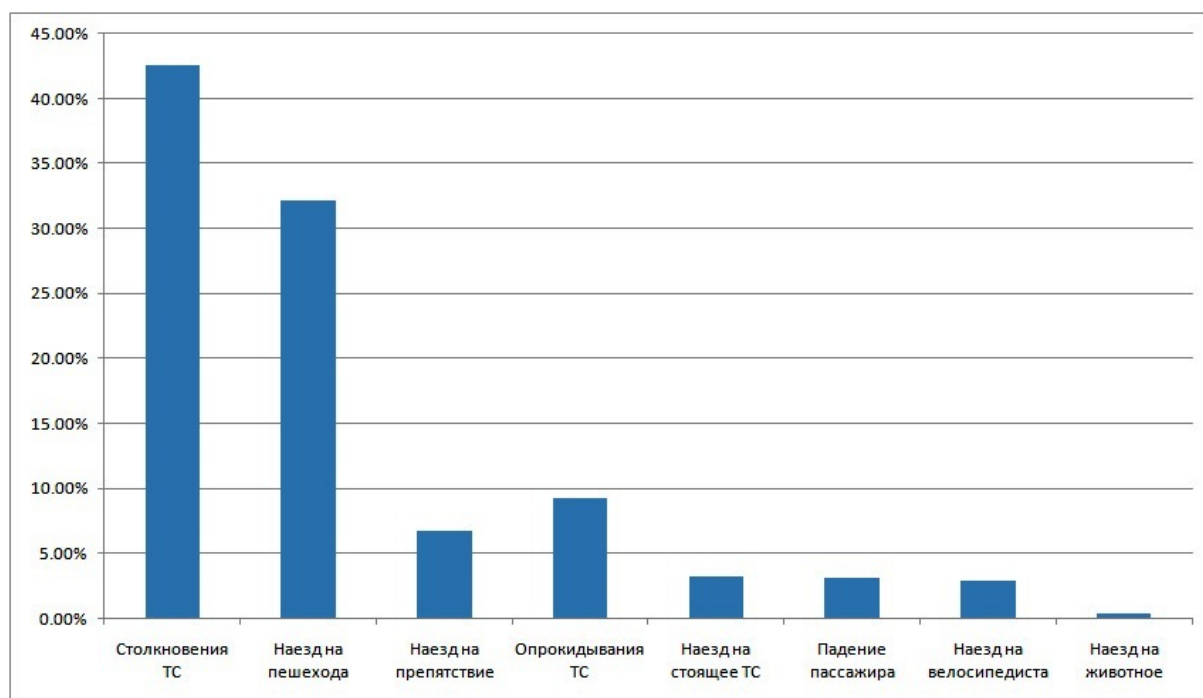


Рис. 1. Статистика по видам совершенных дорожно-транспортных происшествий на территории РФ за 2015 г. [8]

Первая демонстрация СПСА была проведена группой американских инженеров и ученых из Hughes Research Laboratories (Калифорния) в 1995 году. В дальнейшем американское Национальное управление безопасностью движения на трассах ввело требования к обязательному применению систем предупреждения столкновений и систем предупреждения схода с полосы движения [10]. В 2011 году Европейской комиссией был поставлен вопрос о возможном внедрении подобных систем и возможной пользе от их использования [11]. На данный момент эти системы предлагают следующие автопроизводители: BMW, Cadillac, Chrysler, Fiat, Ford, General Motors, Honda, Hyundai, Mazda, Mercedes-Benz, Mitsubishi, Nissan, Peugeot, Renault, Skoda, Subaru, Tesla, Toyota, Volkswagen, Volvo. Алгоритмы действия большинства систем схожи. На начальных стадиях срабатывания система выдает предупреждающие световые и звуковые сигналы, а также подготавливает элементы пассивной безопасности к возможному удару. При отсутствии какой-либо реакции со стороны водителя система сама начинает торможение автомобиля.

Структурно СПСА можно представить в виде трех блоков: блока технического зрения [5], блока управления и системы автоматического торможения (САТ) [7], которая базируется на исполнительных механизмах системы электронного контроля устойчивости (ЭКУ) (рис. 2).



Рис. 2. Структурная схема СПСА

Нормативная документация

В Правилах ЕЭК ООН № 131 содержатся предписания, касающиеся опережающих систем экстренного торможения (ОСЭТ) [3]. Данные

Правила распространяются на ОСЭТ, устанавливаемые на механические ТС категорий М2, М3, N2 и N3 и эксплуатируемые главным образом на автомагистралях. Под действие этих Правил не подпадают ТС категорий М1 и N1, фигурирующие в большом количестве ДТП.

Также как антиблокировочная система тормозов (АБС) и система электронного контроля устойчивости (ЭКУ) ТС категорий М1, N1, СПСА подпадает под действие Правил №13Н-00 ЕЭК ООН [1]. В частности, данным документом введено общее определение функций подобных систем (п. 2.20 [1]). «*Автоматически включающееся торможение*» – означает функцию в рамках комплексной электронной системы управления, при которой тормозная система (тормозные системы или тормоза) на некоторых осях срабатывает (срабатывают) с целью замедления транспортного средства в результате прямого воздействия со стороны водителя либо без такого воздействия, но в результате автоматической оценки бортовой информации. СПСА могут играть роль «*систем вспомогательного торможения (СВТ)*» (п. 2.34 [1]). Это означает функцию тормозной системы, которая идентифицирует ситуацию экстренного торможения исходя из характеристики использования тормоза водителем и в таких условиях:

А – помогает водителю обеспечить максимально достижимый коэффициент торможения или

Б – является достаточной для срабатывания антиблокировочной системы тормозов в режиме полного цикла.

К СПСА также применимы положения Приложений 8 и 9 [1] к Правилам ЕЭК ООН №13Н-00, касающиеся аспектов безопасности комплексных электронных систем управления ТС и систем вспомогательного торможения.

Правила ЕЭК ООН №13-11 распространяют свое действие на ТС категорий М2, М3, N и O в отношении торможения. В случае

транспортных средств категории N1 стороны, подписавшие как Правила №13-Н, так и Правила №13-11, признают официальные утверждения на основании любых из этих Правил в равной степени действительными [2].

На основе анализа нормативной базы можно сделать вывод о её разрозненности и некотором разночтении в определении СПСА. Также не обнаружены требования к эффективности функционирования СПСА на ТС категорий M1, N1.

Проблема корректного функционирования СПСА

Тормозной путь автомобиля обычно определяется по формуле (1) [5]:

$$S_T = (\tau_C + 0,5 \cdot \tau_H) + \frac{(V_0^2 - V_K^2)}{2 \cdot j_{уст}}, \quad (1)$$

где τ_C – время задержки срабатывания; τ_H – время нарастания замедления; V_0 – скорость ТС в начале торможения; V_K – конечная скорость ТС; $j_{уст}$ – установившееся замедление ТС.

Время задержки срабатывания τ_C обусловлено выбором зазоров в тормозных механизмах при срабатывании тормозной системы. Оно составляет примерно 0,05–0,07 с для тормозных систем с гидравлическим приводом и дисковыми тормозными механизмами [6]. Время τ_H и характер нарастания замедления зависят от многих факторов, включая особенности конструкции тормозного привода, тип и состояние тормозных механизмов, состояние дороги и квалификацию водителя. Оно составляет 0,05–0,2 с для легковых автомобилей [6].

На значение установившегося замедления непосредственное влияние оказывает коэффициент сцепления шин в продольном направлении φ_x :

$$j_{уст} = \varphi_x \cdot g. \quad (2)$$

Преобразуя формулу (1) с учетом средних значений τ_C и τ_H ($\tau_C = 0,06$ с, $\tau_H = 0,1$ с) [6], а также формулы (2), получим:

$$S_T = 0,11 + \frac{(V_0^2 - V_K^2)}{2 \cdot \varphi_x \cdot g}. \quad (3)$$

Анализ формулы (3) показывает, что тормозной путь находится в прямой зависимости от коэффициента сцепления φ_x шин автомобиля с дорогой. Другие переменные, определяющие тормозной путь, заранее известны или могут быть определены датчиками. При торможении со скоростью 60 км/ч до полной остановки на сухом асфальтобетонном покрытии ($\varphi_x \approx 0,8$) [6] тормозной путь составит 17,8 м. При торможении на мокром асфальте ($\varphi_x \approx 0,6$) [6] он возрастет до 23,7 м (относительный прирост 24,8%). При торможении на обледенелой дороге ($\varphi_x \approx 0,2$) [6] тормозной путь составит 70,9 м. В данном примере рассматривалось торможение с условно «городской» скоростью в 60 км/ч. Движение на загородных дорогах и автомагистралях допускает скоростной режим, превышающий 60 км/ч.

Для анализа зависимости тормозного пути от начальной скорости торможения и коэффициента сцепления в соответствии с формулой (3) можно построить трехмерную поверхность (рис. 3). На величину тормозного пути оказывает влияние определенное количество факторов. Наиболее значимыми являются скорость в начале торможения и уровень сцепления шин ТС с дорогой. Необоснованное ограничение скоростного режима приведет к снижению общей пропускной способности дорожной сети. Также на данный момент отсутствуют законодательные меры, определяющие величину безопасной дистанции между движущимися ТС.

Немаловажное влияние на величину тормозного пути оказывает и коэффициент сцепления с дорогой. На рис. 3 видно, что с увеличением скорости начала торможения ($V_0 - V_K$) это влияние возрастает, так как тормозной путь (S_T) прямо пропорционален квадрату скорости ($V_0 - V_K$).

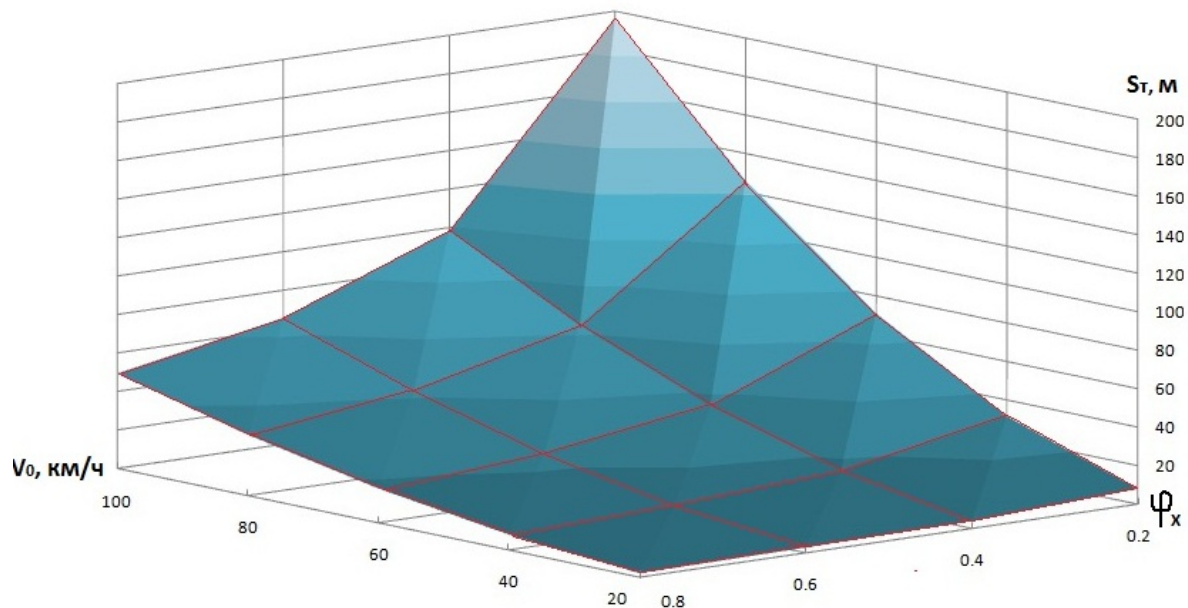


Рис. 3. Поверхность зависимости тормозного пути от скорости начала торможения и коэффициента сцепления



Рис. 4. Выбор оптимальной дистанции начала торможения

Встает вопрос об определении дистанции начала срабатывания САТ в зависимости от скорости и коэффициента сцепления. Также возникает закономерный вопрос о торможении в плотном городском транспортном

потоке. При условии низкого уровня сцепления шин с опорной поверхностью возможно позднее срабатывание САТ (рис. 4б). Излишнее увеличение дистанции начала срабатывания САТ приведет к частым преждевременным и ложным срабатываниям (рис. 4а). Также чрезмерное увеличение дистанции до момента срабатывания системы ухудшит пропускную способность автомобильных дорог, если говорить о повсеместном применении подобных систем. Помимо этого, преждевременное торможение может быть неожиданным для ТС, движущегося сзади.

Основная задача – разработка алгоритма функционирования СПСА, который учитывал бы все обозначенные моменты и особенности.

Использование инфраструктуры интеллектуальных транспортных систем (ИТС) для прогнозирования коэффициента сцепления шин с дорогой

Состояние дорожного покрытия может быть определено после анализа следующих параметров: температура воздуха, влажность и др. Прогнозирование коэффициента сцепления на основе комплексного анализа косвенных факторов в принципе возможно, однако точность подобной оценки может вызывать закономерные вопросы.

Сегодня ведутся разработки в области создания портативных устройств, которые смогли бы определять коэффициент сцепления во время движения автомобиля [12]. Однако эффективность действия подобных устройств пока недостаточна.

Таким образом, на данный момент не ставится задача точного определения коэффициента сцепления. Задача состоит в выборе способа его определения и соответствующей методики для его прогнозирования с достаточной степенью вероятности.

Одним из наиболее перспективных направлений представляется методика прогнозирования значения коэффициента сцепления с использованием инфраструктуры ИТС для обмена данными о состоянии поверхности дорожного полотна между ТС и инфраструктурой ИТС в реальном времени [13]. Технология интеллектуальных транспортных систем базируется на современных средствах беспроводной связи, спутниковой навигации и вычислительных мощностях современных компьютеров. Основные компоненты ИТС представлены на рис. 5.

Основные цели внедрения ИТС:

- повышение безопасности дорожного движения;
- повышение пропускной способности улично-дорожной сети;
- повышение качества обслуживания участников дорожного движения;
- уменьшение вредного воздействия транспортных потоков на окружающую среду;
- повышение эффективности функционирования транспорта.

Таким образом, после анализа ряда параметров становится возможным спрогнозировать состояние дорожного полотна (коэффициент сцепления) на определенном участке дороги. Полученные данные будут доступны всем ТС, находящимся на данном участке дорожной сети. Также возможен сценарий, который предполагает передачу информации о факте срабатывания САТ, ЭКУ (включая АБС, ПБС) и определённом при этом состоянии дорожного покрытия. Данные могут передаваться от одного ТС к другому, едущему за ним (V2V [4]). Также доступны алгоритмы обмена информацией типа: «Автомобиль – Инфраструктура» и «Инфраструктура – Автомобиль» (V2I и I2V соответственно [4]), которые появились благодаря развитию и распространению технологий беспроводной передачи данных, применяемых в ИТС.

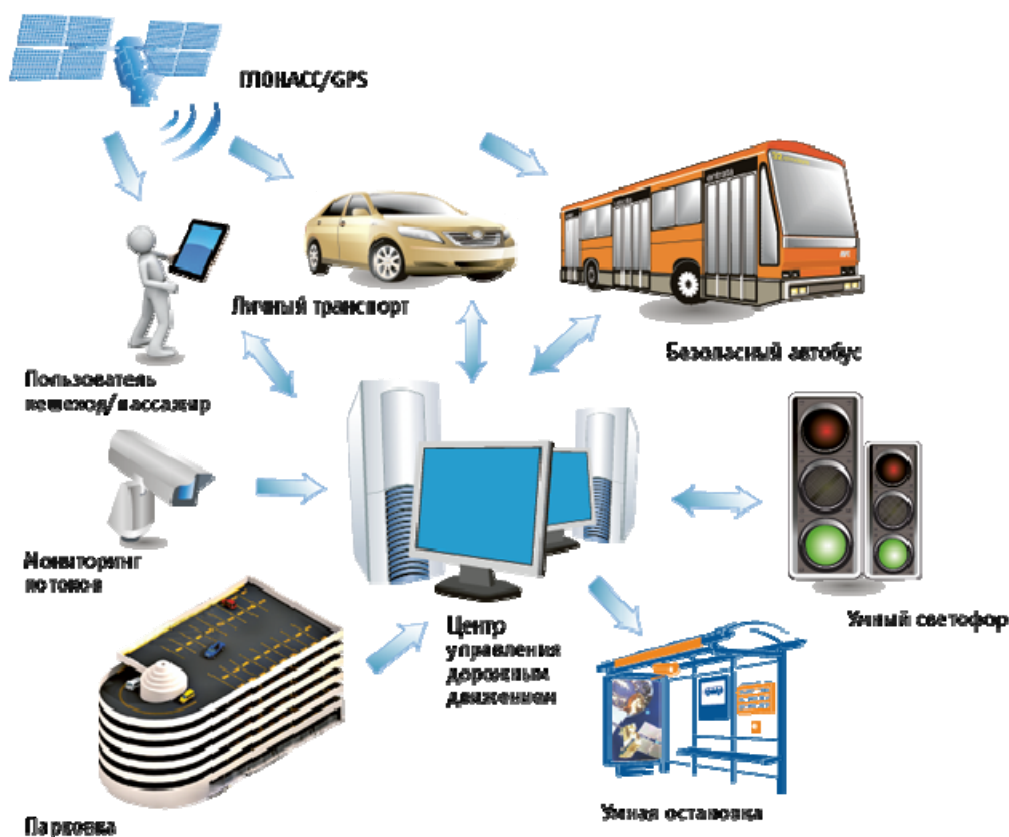


Рис. 5. Основные компоненты ИТС [9]

Заключение

Существование проблемы корректного функционирования СПСА при значительном изменении коэффициента сцепления с дорогой очевидно. Прогнозирование данного параметра при помощи технологий ИТС и данных, которые можно получить от бортовых систем автомобиля в результате их функционирования, может быть решением данной проблемы. Для этого предстоит решить следующие задачи:

- определить минимально необходимый объём исходной информации. Также необходимо определить перечень дополнительной информации, повышающей точность прогноза;
- подобрать оптимальный алгоритм прогнозирования значения коэффициента сцепления;
- разработать требования к соответствующим элементам инфраструктуры ИТС и протоколам обмена данными;

- выдвинуть требования к быстродействию подсистемы прогнозирования коэффициента сцепления;
- выдвинуть требования к точности прогнозирования значения коэффициента сцепления, достаточной для корректного функционирования СПСА.

Список литературы

1. Правила ЕЭК ООН № 13Н-00. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения легковых автомобилей в отношении торможения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.gost.ru/wps/portal/!ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3gLHzeXUFNLYwMLd0tXA0dvs4CgEBM_Y_dAM_2CbEdFAI-pYz8!/?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm/connect/gost/gostru/directions/technicalregulation/content.activity.tr.transp.sredstv.unece
2. Правила ЕЭК ООН №13-11. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств категорий М, N и O в отношении торможения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.gost.ru/wps/portal/!ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3gLHzeXUFNLYwMLd0tXA0dvs4CgEBM_Y_dAM_2CbEdFAI-pYz8!/?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm/connect/gost/gostru/directions/technicalregulation/content.activity.tr.transp.sredstv.unece
3. Правила ЕЭК ООН № 131. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения механических транспортных средств в отношении опережающих систем экстренного торможения (ОСЭТ). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUKEwi4t4PN3MbSAhVFCCwKHRoeANIQFgghMAE&url=https%3A%2F%2Fwww.unece.org%2Ffileadmin%2FDAM%2Ftrans%2Fmain%2Fwp29%2Fwp29regs%2F2017%2FR131r1am1r.docx&usg=AFQjCNFRvGTJMyIomTW-3bOMB5u3wQt0RA&cad=rjt>

4. ГОСТ Р 56829–2015. Интеллектуальные транспортные системы. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2016. – 10 с.
5. Долгова, Л.А. Автоматизированная система предотвращения аварийных столкновений автомобилей / Л.А. Долгова, Е.Г. Рылякин, Г.Н. Василиади // Технологии техносферной безопасности. – 2015. – № 4 (62). – С. 1–6.
6. Литвинов, А.С. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств: учебник для вузов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство» / А.С. Литвинов, Я.Е. Фаробин. – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с.
7. Попов, А.И. Система автоматического торможения автомобиля / А.И. Попов, А.Р. Спинов // Журнал автомобильных инженеров. – 2011. – № 6 (71). – С. 28–31.
8. Сведения о статистике дорожно-транспортных происшествий в РФ за 2015 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.1gai.ru/autonews/514631-avarii-na-dorogah-rossii-statistika.html>
9. Основные сведения об интеллектуальных транспортных системах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.nisglonass.ru/products/intellektualnye_transportnye_sistemy/
10. Forward Collision Warning Requirements Project Final Report – Task 1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwiZkZKc38bSAhWEBSwKHa3AB5kQFggaMAA&url=https%3A%2F%2Fwww.nhtsa.gov%2FDOT%2FNHTSA%2FNRD%2FMultimedia%2FPDFs%2FCrash%2520Avoidance%2F2003%2FHS809574Report.pdf&usg=AFQjCNF3iWkJy4OwdLP3gSDLnly5s-7K1A&bvm=bv.148747831,d.bGg>
11. Written question – Rear-end traffic collisions in the European Union – E-011477/2011. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.europarl.europa.eu/sides/getAllAnswers.do?reference=E-2011-011477&language=EN>
12. Chang Sun Ahn. Robust Estimation of Road Friction Coefficient for Vehicle Active Safety Systems / Chang Sun Ahn / The University of Michigan.

– S.l., 2011. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://deepblue.lib.umich.edu/handle/2027.42/84523>

13. Современные вызовы развития теории автомобиля как интеллектуального транспортного средства / Б.Н. Белоусов, Г.И. Гладов, Т.И. Ксеневиц, М.П. Малиновский // Интеллектуальные машинные технологии и техника для реализации Государственной программы развития сельского хозяйства: сб. науч. докл. Междунар. науч.-техн. конф. / Всерос. науч.-исслед. ин-т механизации сел. хоз-ва. – М., 2015. – С. 62–66.

References

1. URL: http://www.gost.ru/wps/portal!/ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSzPy8xBz9CP0os3gLHzeXUFNLYwMLd0tXA0dvs4CgEBM_Y_dAM_2CbEdFAI-pYz8!/?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm/connect/gost/gostru/directions/technicalregulation/content.activity.tr.transp.sredstv.unece

2. URL: http://www.gost.ru/wps/portal!/ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3gLHzeXUFNLYwMLd0tXA0dvs4CgEBM_Y_dAM_2CbEdFAI-pYz8!/?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm/connect/gost/gostru/directions/technicalregulation/content.activity.tr.transp.sredstv.unece

3. URL: <https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUKEwi4t4PN3MbSAhVFCCwKHRoeANIQFgghMAE&url=https%3A%2F%2Fwww.unece.org%2Ffileadmin%2FDAM%2Ftrans%2Fmain%2Fwp29%2Fwp29regs%2F2017%2FR131r1am1r.docx&usg=AFQjCNFRvGTJMylomTW-3bOMB5u3wQt0RA&cad=rj>

4. GOST R 56829–2015. Intellektual'nye transportnye sistemy. Terminy i opredelenija (GOST R 56829-2015. Intelligent transport system. Terms and Definitions), Moscow, Standartinform, 2016, 10 p.

5. Dolgova L.A. *Tehnologii tehnosfernoj bezopasnosti*, 2015, no. 4 (62), pp. 1–6.

6. Litvinov A.S., Farobin Y.E. *Avtomobil': Teorija jekspluatacionnyh svojstv* (Car: Theory of operational properties), Moscow, Mashinostroenie, 1989, 240 p.

7. Popov A.I. *Zhurnal avtomobil'nyh inzhenerov*, 2011, no. 6 (71), pp. 28–31.
8. URL: <http://www.1gai.ru/autonews/514631-avarii-na-dorogah-rossii-statistika.html>
9. URL: http://www.nisglonass.ru/products/intellektualnye_transportnye_sistemy/
10. URL: <https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwiZkZKc38bSAhWEBSwKHa3AB5kQFgggMAA&url=https%3A%2F%2Fwww.nhtsa.gov%2FDOT%2FNHTSA%2FNRD%2FMultimedia%2FPDFs%2FCrash%2520Avoidance%2F2003%2FHS809574Report.pdf&usg=AFQjCNF3iWkJy4OwdLP3gSDLnly5s-7K1A&bvm=bv.148747831,d.bGg>
11. URL: <http://www.europarl.europa.eu/sides/getAllAnswers.do?reference=E-2011-011477&language=EN>
12. URL: <https://deepblue.lib.umich.edu/handle/2027.42/84523>
13. Belousov B.N., Gladov G.I., Ksenevich T.I., Malinowski M.P. *Intellektualnye mashinnye texnologii i texnika dlya realizacii gosudarstvennoj programmy razvitiya selskogo xozyajstva: sbornik nauchnyx dokladov mezhdunarodnoj nauchno-texnicheskoj konferencii*, Moscow, 2015, pp. 62–66.