

УДК 629.331:629.017:629.06

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ОСЭТ ПОСРЕДСТВОМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА СЦЕПЛЕНИЯ ШИН С ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

С. Р. Кристальный, к. т. н., доц. / М. А. Топорков, асп.

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

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 для деятельности автомобильных инженеров и 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) [8], 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 опережающих систем экстренного торможения (ОСЭТ) является одним из приоритетных направлений в области повышения активной безопасности колёсных ТС.

Первая демонстрация ОСЭТ была проведена группой американских инженеров и учёных из Hughes Research Laboratories (Калифорния) в 1995 году. В дальнейшем американское Национальное управление безопасностью движения на трассах ввело требование обязательно применять системы предупреждения столкновений и системы предупреждения схода с полосы движения [9]. В 2011 году Европейской комиссией был поставлен вопрос о возможном внедрении подобных систем и потенциальной пользе [10]. На данный момент эти системы предлагают следующие автопроизводители: BMW, Cadillac, Chrysler, Fiat, Ford, General Motors, Honda, Hyundai, Mazda, Mercedes-Benz, Mitsubishi, Nissan, Peugeot, Renault, Škoda, Subaru, Tesla, Toyota, Volkswagen, Volvo. Алгоритмы действия большинства систем схожи. На начальных стадиях срабатывания система подаёт 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 ОСЭТ можно представить в виде трёх блоков (рис. 2): блока технического зрения [5], блока управления и системы автоматического торможения (САТ) [7], которая базируется на исполнительных механизмах системы электронного контроля устойчивости (ЭКУ).

НОРМАТИВНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

В Правилах ЕЭК ООН № 131 [3] содержатся предписания, касающиеся опережающих систем экстренного торможения (ОСЭТ). Данные правила распространяются на ОСЭТ, устанавливаемые на механические ТС категорий M_2 , M_3 , N_2 и N_3 , эксплуатируемые главным образом на автомагистралях. Под действие этих правил не попадают ТС категорий M_1 и N_1 , фигурирующие в большом количестве ДТП.

Так же как антиблокировочная система тормозов (АБС) и система электронного контроля устойчивости (ЭКУ) ТС категорий M_1 и N_1 , ОСЭТ подпадает под действие Правил № 13Н-00 ЕЭК ООН [1]. В частности, данным документом введено общее определение функций подоб-

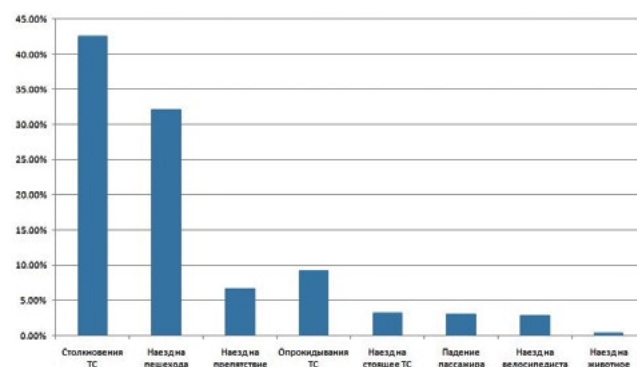


Рисунок 1. Статистика по видам дорожно-транспортных происшествий, зарегистрированных на территории РФ за 2015 год [8]



Рисунок 2. Структурная схема ОСЭТ

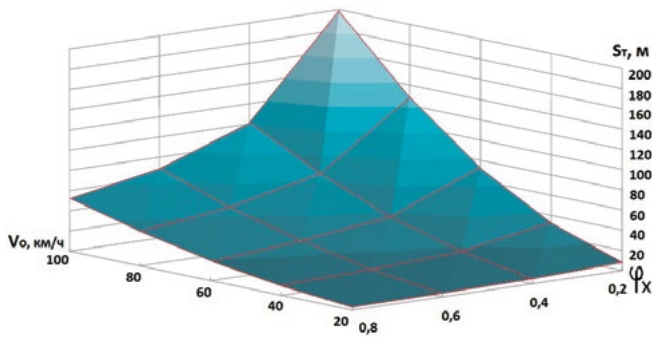


Рисунок 3. Поверхность зависимости тормозного пути от скорости начала торможения и коэффициента сцепления

ных 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. ОСЭТ могут выполнять 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:

- помогает водителю обеспечить максимально достижимый коэффициент торможения или
- является достаточной для срабатывания антиблокировочной системы тормозов в режиме полного цикла.

К ОСЭТ 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 своё действие на ТС категорий M_2 , M_3 , N и O в отношении торможения. В случае транспортных средств категории N_1 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 некоторых разночтениях в определении ОСЭТ. Также не обнаружены требования к эффективности функционирования ОСЭТ на ТС категорий M_1 и N_1 .

ПРОБЛЕМА КОРРЕКТНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОСЭТ

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

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

где τ_C — время задержки срабатывания; τ_H — время нарастания замедления; V_0 — скорость ТС в начале торможения; V_K — конечная скорость ТС; j_{ycm} — 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 сек. 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 сек. для легковых автомобилей [6].

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

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

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

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

Анализ формулы (3) показывает, что тормозной путь находится в прямой зависимости от коэффициента сцепления шин автомобиля с дорогой. Другие переменные, определяющие тормозной путь, заранее известны или могут быть определены датчиками. При торможении со скорости 60 км/ч до полной остановки на сухом асфальтобетонном покрытии ($\varphi_x \approx 0,08$) [6] тормозной путь составит 17,8 м. При торможении на мокром асфальте ($\varphi_x \approx 0,06$) [6], он возрастёт до 23,7 м (относительный прирост — 24,8%), при торможении на обледенелой дороге ($\varphi_x \approx 0,02$) [6] тормозной путь составит 70,9 м. В данном примере рассматривалось торможение с условно «городской» скорости 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 трёхмерную поверхность (рис. 3). На величину тормозного пути оказывает влияние определённое количество факторов. Наиболее значимыми являются скорость в начале торможения и уровень сцепления шин ТС с дорогой. Необоснованное ограничение скоростного режима приведёт к снижению общей про-

пусковой 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 шин с опорной поверхностью. 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 ($V_0 - V_K$).

Встаёт 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 приведёт 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 ОСЭТ, который учитывал бы обозначенные моменты и особенности.

Соответствующие результаты получены в рамках выполнения государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ (ИТС) ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА СЦЕПЛЕНИЯ ШИН С ДОРОГОЙ

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

На данный момент ведутся разработки в области создания портативных устройств, которые смогли бы определять коэффициент сцепления во время движения автомобиля [11]. Однако эффективность действия подобных устройств пока недостаточна.

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



Рисунок 4. Выбор оптимальной дистанции начала торможения



Рисунок 5. Основные компоненты ИТС [9]

Одним из наиболее перспективных направлений представляется методика прогнозирования значения коэффициента сцепления с использованием инфраструктуры ИТС [12] для обмена данными о состоянии поверхности дорожного полотна между ТС и инфраструктурой в режиме реального времени. 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 [8]:

- 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 исходных параметров становится возможным спрогнозировать состояние дорожного полотна (коэффициент сцепления) на определённом участке дороги. Полученные данные будут доступны всем ТС, находящимся на данном участке дорожной сети. Также возможен сценарий, который предполагает передачу информации о факте сраба-

тивания CAT, ЭКУ (включая АБС, ПБС) и определенном 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.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Существование проблемы корректного функционирования ОСЭТ 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 ре-

шением данной проблемы. Для этого предстоит решить следующие задачи:

- определить минимально необходимый объем исходной информации, а также 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 ОСЭТ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Правила ЕЭК ООН № 13Н-00. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения легковых автомобилей в отношении торможения // Росстандарт: оф. сайт [Электронный ресурс]. Систем. требования: архиватор RAR. — URL: http://www.gost.ru/wps/portal/lut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3gLHzeXUFNLYwMLd0tXA0dvs4CgEBM_Y_dAM_2CbEdFAI-pYz8!/?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm/connect/gost/gostru/directions/technicalregulation/content.activity.tr.transp.sredstv.unece (дата обращения: 23.06.2017).
2. Правила ЕЭК ООН № 13-11. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств категорий М, N и O в отношении торможения // Росстандарт: оф. сайт [Электронный ресурс]. Систем. требования: архиватор RAR. — URL: http://www.gost.ru/wps/portal/lut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3gLHzeXUFNLYwMLd0tXA0dvs4CgEBM_Y_dAM_2CbEdFAI-pYz8!/?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm/connect/gost/gostru/directions/technicalregulation/content.activity.tr.transp.sredstv.unece (дата обращения: 23.06.2017).
3. Правила ЕЭК ООН № 131. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения механических транспортных средств в отношении опережающих систем экстренного торможения (ОСЭТ) // UNECE [Электронный ресурс]. URL: <http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29regs121-140.html> (дата обращения: 23.06.2017).
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 / А. С. Литвинов, Я. Е. Фаробин. — М.: Машиностроение, 1989. — 240 с.
7. Система автоматического торможения автомобиля / А. И. Попов, А. Р. Спинов, И. В. Котенко и др. // Журнал автомобильных инженеров. — 2011. — № 6 (71). — С. 28–31.
8. Аварии на дорогах России: статистика // IGA.ru. — 2015. — 9 апреля [Электронный ресурс]. URL: <http://www.igai.ru/autonews/514631-avarii-na-dorogah-rossii-statistika.html> (дата обращения: 23.06.2017).
9. Forward collision warning requirements project final report — task 1 // National Highway Traffic Safety Administration. — January 2003 [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. — URL: <http://www.nhtsa.gov/DOT/NHTSA/NRD/Multimedia/PDFs/Crash%20Avoidance/2003/HS809574Report.pdf> (дата обращения: 23.06.2017).
10. Answer to a written question. Rear-end traffic collisions in the European Union — E-011477/2011 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.europarl.europa.eu/sides/getAllAnswers.do?reference=E-2011-011477&language=EN> (дата обращения: 23.06.2017).
11. Ahn C. S. Robust estimation of road friction coefficient for vehicle active safety systems. — The University of Michigan, 2011 [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. — URL: <https://deepblue.lib.umich.edu/handle/2027.42/84523> (дата обращения: 23.06.2017).
12. Современные вызовы развития теории автомобиля как интеллектуального транспортного средства / Б. Н. Белоусов, Г. И. Гладов, Т. И. Ксеневич, М. П. Малиновский // Интеллектуальные машинные технологии и техника для реализации государственной программы развития сельского хозяйства: сборник научных докладов междунар. науч.-техн. конф. — М.: Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, 2015. — С. 62–66.