

УДК 629.33

П.С. Рогов, В.П. Мишустов, Д.А. Колесниченко, Е.А. Сеницын

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ЭКСТРЕННОГО ТОРМОЖЕНИЯ:
ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ И КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассматриваются преимущества и ограничения датчиков обнаружения объектов, применяемых в системах автоматического экстренного торможения. Приводятся возможные способы повышения эффективности системы. Представлены данные по возможному эффекту от внедрения систем автоматического экстренного торможения с точки зрения снижения количества и тяжести последствий дорожно-транспортных происшествий.

Ключевые слова: системы активной помощи водителю, безопасность, автоматическое экстренное торможение, радар, лидар, стереокамера, дорожно-транспортное происшествие.

Одним из актуальных современных направлений развития автомобильной техники является повышение безопасности дорожного движения. Это может быть достигнуто за счет повышения энергоемкости кузова [1-3], совершенствования элементов пассивной безопасности, улучшения свойств управляемости и устойчивости [4-6]. В последнее время наиболее динамично развивающимся направлением повышения безопасности автомобиля является разработка систем активной помощи водителю – ADAS (Adaptive Driver Assistance Systems) и оснащение автомобилей указанными системами. Основное назначение ADAS – частичная замена функций водителя. Это особенно актуально при снижении внимания водителя к дорожной обстановке или его неправильной реакции на сложившуюся дорожную ситуацию. Многими функциями ADAS в настоящий момент уже оснащаются серийные зарубежные автомобили. Некоторые из функций ADAS появляются в нормативных документах по техническому регулированию и, таким образом, оснащение ими автомобиля и соответствие этих функций требованиям технического регламента становится обязательным условием регистрации.

Речь идет об одной из систем, обязательных для регистрации автомобилей категорий N2, M2 (класс B), N3, M3 (класс III) в странах Европейского Союза (ЕС). Это система автоматического экстренного торможения (далее АЕBS – Automatic Emergency Braking System). Назначением системы является выполнение экстренного торможения в автоматическом режиме при риске столкновения с движущимся или стационарным препятствием и отсутствии реакции водителя на ситуацию. Очевидно, что целевым видом дорожно-транспортного происшествия (ДТП), при котором действие системы АЕBS имеет наибольший эффект, является столкновение одного транспортного средства с задней частью другого. Количество подобных происшествий является различным в международном аспекте и, соответственно, эффективность сокращения ДТП за счет оснащения автомобилей АЕBS может варьироваться. Например, в статье [7] эффект от обязательного оснащения АЕBS всех автомобилей в Австралии оценивается снижением количества ДТП на 7 %. По оценке, данной в работе [8], применение АЕBS может привести к снижению тяжести 25-75 % ДТП, связанных с лобовым столкновением, в странах ЕС. В результате оценки эффективности АЕBS с использованием статистики по автомобилям, реально оснащенным системой [9], было установлено, что система привела к сокращению ДТП с легкими травмами на 13,9 %, ДТП со смертельными последствиями на 2,2 %, и ДТП с серьезными травмами на 9,4 %. Общая объединенная статистика приводится в исследовании [10], где указывается, что использование системы АЕBS приводит к сокращению ДТП с летальными последствиями приблизительно на 11 %; помо-

гает избежать 1 % (0.6 %-1.1 %) ДТП с серьезными травмами и сокращает количество ДТП с легкими травмами на 10 % (9 %-12 %).

Очевидно, что оснащение автомобилей АЕBS является эффективной мерой по повышению безопасности дорожного движения. Тот факт, что система внедряется в технический регламент как необходимое условие для регистрации только грузовых автомобилей и автобусов, по всей видимости, связан с тем, что указанные категории автомобилей обладают меньшей управляемостью и устойчивостью и, поэтому, выполнение торможения для этих категорий является основным средством по избеганию ДТП.

Компонентный состав АЕBS может варьироваться в основном за счет применения различных датчиков обнаружения и распознавания объектов. В табл. 1 продемонстрированы датчики, используемые в настоящий момент на серийных автомобилях [11-20].

Таблица 1

Виды датчиков обнаружения объектов системы АЕBS на серийных автомобилях

Автомобиль / оригинальное название системы	Датчик			
	Радар	Видеокамера	Лидар	Стереокамера
Hyundai Santa Fe		1	1	
VW Crafter	1	1		
BMW / Pedestrian Warning with City Brake Activation				1
FIAT / City Brake Control			1	
Mitsubishi / Forward Collision Mitigation	1			
Ford / Active City Stop			1	
DAF (CF / XF)	1			
Subaru XV / EyeSight				1
Mercedes-Benz Sprinter	1	1		
Volvo trucks	1	1		

Как видно из таблицы, существует четыре основных датчика обнаружения систем АЕBS и различные комбинации их совместного применения. Рассмотрим подробнее преимущества и недостатки датчиков.

Применение стереоскопической камеры обусловлено тем, что с ее помощью можно, в отличие от традиционной камеры, достаточно точно измерить расстояние до объектов. Благодаря использованию методов распознавания объектов по изображению [21-22], достигается минимизация ложных распознаваний и, соответственно, ложных реагирований системы. Стереокамера обладает дальностью обнаружения около 55 м [23]. Этого недостаточно для выполнения требований технического регламента – Правил ООН №131. Поэтому в настоящее время этот компонент применяется на легковых автомобилях, где пока отсутствуют обязательные предписания технического регламента. К недостаткам стереокамеры можно также отнести низкую эффективность работы в сложных погодных условиях, в темное время суток и при низкой эффективности работы щеток стеклоочистителей. Расположение данного компонента в салоне автомобиля с условием размещения линз камеры в зоне очистки лобового стекла щетками стеклоочистителей может представлять сложность для автопроизводителя, т.к. компонент может стать причиной нарушения зон обзора водителя, регламентируемых ГОСТ Р 51266-99 [24].

Лидар более устойчив к воздействию сложных погодных условий, и эффективность его работы не зависит от времени суток. Он может быть размещен в элементах экстерьера автомобиля, не нарушая поля обзора водителя. Дальность обнаружения объектов с использованием лидара несколько выше, чем дальность обнаружения стереокамеры, и составляет около 100 м [25]. В связи с относительно невысокой дальностью обнаружения объекта-

ми установки лидара, так же, как и стереокамеры, являются легковые автомобили, не относящиеся к требованиям Правил ООН №131.

Традиционная видеокамера обладает всеми недостатками стереокамеры, к которым добавляется еще один – невозможность определения дистанции до объекта, находящегося на дальнем расстоянии и представляющего опасность столкновения. В связи с этим, видеокамера в системах АЕBS применяется как дополнительный датчик, повышающий эффективность распознавания основного датчика обнаружения (радар, лидар) (табл. 1).

По данным из открытых источников, радар сейчас является наиболее популярным датчиком обнаружения систем АЕBS. Это объясняется, в первую очередь, дальностью обнаружения целевых объектов (автомобилей) – 200...250 м [26]. Для пешеходов и мотоциклистов дальность обнаружения несколько скромнее, но также выше, чем у остальных датчиков. Поэтому радар является основным датчиком обнаружения для автомобилей, подверженным действию Правил ООН №131. Как правило, радар размещается за решеткой радиатора или бампером автомобиля и защищается от механических воздействий крышкой, к которой предъявляются особые требования. Она должна быть изготовлена из определенных материалов (полимеров), обладающих низким значением диэлектрической постоянной, должен соблюдаться определенный угол наклона фронтальной части крышки. Кроме того, должны выполняться требования по шероховатости, толщине и расстоянию от радара до фронтальной части крышки. Эффективность работы радара снижается в случае чрезмерного окружения его металлическими частями автомобиля и поэтому этот фактор проверяется отдельно в процессе испытаний и доводки системы АЕBS в составе автомобиля.

Основным недостатком радара является низкая эффективность распознавания объекта. Большинство автомобильных радаров позволяет определить расстояние (продольное и поперечное) до объекта, горизонтальный вектор скорости, ускорения объекта в горизонтальной плоскости. Единственная характеристика формы и размеров объекта, определяемая радаром, это эффективная площадь рассеяния (ЭПР) объекта. ЭПР является количественной мерой свойства объекта рассеивать электромагнитную волну [27]. Указанная характеристика зависит сразу от формы, размеров и материала, из которого изготовлен объект [28]. Поэтому, если у объекта дорожного движения низкий ЭПР (например пешеход), он может совпадать с значением ЭПР дорожных знаков, канализационных люков, отбойников на обочине. Объекты инфраструктуры, такие как: трубопроводы, пролегающие над дорогой, также могут быть ошибочно приняты за объекты, представляющие опасность столкновения. Для минимизации ложных реагирований АЕBS логичным действием производителей систем предполагается минимизация поля обзора радара по горизонтали и вертикали, что приводит к снижению эффективности по обнаружению потенциально опасных объектов. Таким образом, можно выполнить требования регламента и минимизировать количество ложных срабатываний, но при этом АЕBS не будет гарантировать полноценную защиту пассажиров и водителя автомобиля от столкновения в случаях неправильной реакции водителя на дорожную ситуацию.

Выход из сложившейся ситуации – применение комбинации сенсоров для более высокой эффективности обнаружения потенциально опасных объектов. Как видно из табл. 4, достаточно популярной комбинацией сенсоров среди серийных решений является радар-видеокамера. Подобное решение можно наблюдать в основном среди новых моделей автомобилей, вышедших на рынок в 2018 г. Традиционный недостаток камеры снижает эффективность применения системы в темное время суток и прочих условиях, усложняющих визуальное наблюдение, приведенных выше в тексте. Поэтому среди автопроизводителей продолжается поиск наиболее эффективного сочетания сенсоров. Например, компания Volvo анонсировала выход нового поколения системы City Safety, обладающей возможностью распознавания пешеходов и диких животных в темное время суток [29]. Подобный эффект может быть достигнут за счет применения системы ночного видения или тепловизора. Компания Perceptive Automata презентовала применение ПО с искусственным интеллектом [30] для усовершенствования возможностей обнаружения пешеходов и, в частности, тех из них,

которые не находятся на траектории движения автомобиля, но при этом могут в скором времени оказаться на проезжей части. Базовая технология Perceptive Automata основана на данных, получаемых с автомобильных датчиков, показывающих взаимодействие с людьми. Большой массив таких данных используется для тренировки моделей глубинного обучения, которые интерпретируют поведение людей так же, как сами люди. Система способна предугадывать намерения пешеходов, мотоциклистов, велосипедистов и других водителей. Визуализация действия данного ПО показана на рис. 1.

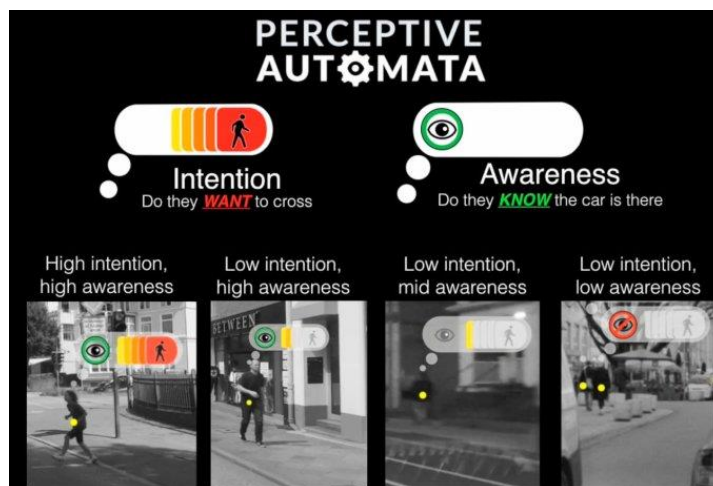


Рис. 1. Возможные ситуации распознавания Perceptive Automata

Данная система скорее предназначена для автономных транспортных средств, т.к. в серийных решениях автоматических систем управления сегодняшнего дня важна однозначность и четкое обоснование принимаемых решений. Необходимо разграничивать зоны ответственности водителя и зоны ответственности системы и для последних проводить обширный анализ функциональной безопасности. Также это необходимо для однозначного установления причины возникновения дорожно-транспортного происшествия с участием автомобиля, оснащенного активными системами помощи водителю.

По рассмотренным данным можно сделать вывод, что несмотря на большое количество серийных автомобилей с системой АЕBS на дорогах общего пользования многие концептуальные решения по реализации системы продолжают совершенствоваться и поэтому направление по совершенствованию систем автоматического экстренного торможения является актуальным с исследовательской точки зрения. Главным мотиватором повышения эффективности работы систем является совершенствование технического регламента. Основным датчиком обнаружения объектов является радар дальнего действия, который обязательно должен присутствовать на автомобиле. Кроме того, система АЕBS сама по себе может стать источником опасности для водителя и пассажиров, поскольку она предполагает активное управление замедлением автомобиля и сбросом крутящего момента двигателя без участия водителя. Вопросы потенциальных опасностей и последствий отказов системы АЕBS, а также мероприятия по повышению безопасности системы будут рассмотрены в дальнейшей работе.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках проекта «Создание высокотехнологичного производства модельного ряда автомобилей ГАЗель Next с новой электронной архитектурой электронных систем» по Соглашению № 075-11-2019-027 от 29.11.2019 (постановление Правительства Российской Федерации от 09 апреля 2010 года №218).

Библиографический список

1. **Рогов, П.С.** Определение нагрузочного режима, действующего на автобус при его опрокидывании / П.С. Рогов, Л.Н. Орлов // Инженерный вестник дона. – 2015. – №3 (37).
2. **Рогов, П.С.** Методика экспресс-оценки пассивной безопасности кузовов автобусов / П.С. Рогов, Л.Н. Орлов, А.В. Тумасов // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9-1.
3. **Орлов, Л.Н.** Повышение пассивной безопасности кузовов автобусов / Л.Н. Орлов, П.С. Рогов, А.В. Тумасов, А.С. Вашурин // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №3.
4. **Вашурин, А.С.** Актуальные проблемы повышения активной безопасности автомобилей путём применения систем электронного контроля устойчивости / А.С. Вашурин, С.Ю. Костин, Ю.П. Трусков, Е.И. Торопов, А.В. Тумасов // Беспилотные транспортные средства: проблемы и перспективы. Сборник материалов 94 международной научно-технической конференции Ассоциации автомобильных инженеров. – Н. Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2016.
5. **Tumasov, A.V.** Influence of LCV bearing stiffness on its static and dynamic characteristics of stability and steerability / A.V. Tumasov, S.Y. Kostin, D.A. Butin, A.A. Vasiliev, P.V. Sereda // Materials physics and mechanics. – 2019. – №1.
6. **Барахтанов, Л.В.** Оценка параметров устойчивости легких коммерческих автомобилей по результатам расчетных и экспериментальных исследований / Л.В. Барахтанов, А.М. Грошев, П.В. Середина, А.В. Тумасов // Механика машин, механизмов и материалов. – 2017. – №1 (38).
7. **Mitsopoulos, E.** Acceptability of in-vehicle intelligent transport systems to Victorian car drivers. Australian Road Safety Research / E. Mitsopoulos, M. A. Regan, N. Haworth // Policing and Education Conference Proceedings. 2002.
8. **Grover, C.** Automated Emergency Braking Systems: Technical requirements, costs and benefits / C. Grover, I. Knight, F. Okoro, I. Simmons, G. Couper, P. Massie, B. Smith // PPR227. Crowthorne, Berkshire. UK: TRL Limited, 2008.
9. **Hummel, T.** Advanced Driver Assistance Systems. An investigation of their potential safety benefits based on an analysis of insurance claims in Germany / T. Hummel, M. Kuhn, J. Bende, A. Lang // Insurers Accident Research. Berlin: German Insurance Association, 2008.
10. **Hynd, D.** Benefit and Feasibility of a Range of New Technologies and Unregulated Measures in the fields of Vehicle Occupant Safety and Protection of Vulnerable Road Users / D. Hynd, M. McCarthy, J. Carroll, M. Seidl, M. Edwards, C. Visvikis, M. Tress, N. Reed, A Stevens // Technical report. Brussels: European Commission, 2015. – 470 с.
11. Система экстренного торможения Hyundai Santa Fe // Автоцентр Сити Hyundai URL: <https://hyundai-avtocity.ru/hyundai-club/sistema-ekstrennogo-tormozheniya-hyundai-santa-fe-2016-2017/> (дата обращения: 02.05.2019).
12. Crafter 2017. Введение. Программа самообучения 566. Коммерческие автомобили VW, 2017.
13. 2014 BMW Pedestrian Warning with City Brake Activation // Euro NCAP URL: <https://www.euroncap.com/ru/%D1%80%D0%B5%D0%B9%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%B3%D0%B8-%D0%B8-%D0%BD%D0%B0%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%B4%D1%8B/euro-ncap-rewards/2014-bmw-pedestrian-warning-with-city-brake-activation/> (дата обращения: 02.05.2019).
14. 2013 FIAT City Brake Control // Euro NCAP URL: <https://www.euroncap.com/ru/%D1%80%D0%B5%D0%B9%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%B3%D0%B8-%D0%B8-%D0%BD%D0%B0%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%B4%D1%8B/euro-ncap-advanced-rewards/2013-fiat-city-brake-control/> (дата обращения: 02.05.2019).
15. 2013 Mitsubishi Forward Collision Mitigation (FCM) // Euro NCAP URL: <https://www.euroncap.com/ru/%D1%80%D0%B5%D0%B9%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%B3%D0%B8-%D0%B8-%D0%BD%D0%B0%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%B4%D1%8B/euro-ncap-advanced-rewards/2013-mitsubishi-forward-collision-mitigation-fcm/> (дата обращения: 02.05.2019).
16. 2011 Ford Active City Stop // Euro NCAP URL: <https://www.euroncap.com/ru/%D1%80%D0%B5%D0%B9%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%B3%D0%B8-%D0%B8-%D0%BD%D0%B0%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%B4%D1%8B/euro-ncap-advanced-rewards/2011-ford-active-city-stop/> (дата обращения: 02.05.2019).
17. Усовершенствованная система аварийного торможения // Компания DAF Trucks Russia – DAF Trucks Russia URL: <http://www.daf.ru/ru-ru/trucks/comfort-and-safety-systems-euro-6/advanced-emergency-braking-system> (дата обращения: 02.05.2019).

18. Системы помощи водителю // Subaru Russia – официальный сайт производителя в России – Арена Авто-Тольятти URL: <https://tl.subaru.ru/subaru-world/news/team-russia/92476> (дата обращения: 02.05.2019).
19. Активная система экстренного торможения // Малотоннажные автомобили I Mercedes-Benz URL: <https://www.mercedes-benz.ru/vans/ru/sprinter/tourer/optional-equipment-highlights-1/teaser-group-1/active-brake-assist> (дата обращения: 02.05.2019).
20. Экстренное торможение – система, спасающая жизни // Volvo Trucks – европейские грузовые автомобили URL: <https://www.volvotrucks.ru/ru-ru/news/magazine-online/2017/jul/tech-focus-emergency-brake.html> (дата обращения: 02.05.2019).
21. **Порубов, Д.М.** Система автоматизированного управления движением транспортных средств на основе распознавания дорожной сцены и ее объектов / Д.М. Порубов, П.О. Береснев, Д.Ю. Тюгин, А.В. Тумасов, В.В. Беляков, Д.В. Зезюлин // Известия московского государственного технического университета МАМИ. 2018. №1 (35).
22. **Порубов, Д.М.** Разработка автомобильной системы определения и удержания в полосе движения / Д.М. Порубов, Д.В. Зезюлин, Д.Ю. Тюгин, А.В. Тумасов, В.В. Беляков, А.М. Грошев, П.О. Береснев // Транспортные системы. – 2018. – №2 (8).
23. Characteristics of the stereo video camera // Bosch Mobility Solutions URL: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/driver-assistance-systems/lane-departure-warning/stereo-video-camera/> (дата обращения: 02.05.2019).
24. ГОСТ Р 51266-99. Автомобильные транспортные средства. Обзорность с места водителя. Технические требования. Методы испытаний; Введ. с 20.04.1999 г – Москва: Госстандарт России.
25. HDL-32E // Velodyne Lidar URL: <https://velodynelidar.com/hdl-32e.html> (дата обращения: 02.05.2019).
26. Standardized ARS Interface. Technical Documentation. ARS 404-21 (Entry) ARS 408-21 (Premium). V 1.8. Continental Engineering Services GmbH, 2017.
27. **Финкельштейн, М.И.** Основы радиолокации / М.И. Финкельштейн. – М.: Радио и связь, 1983.
28. **Skolnik, M.I.** Radar Handbook. 2nd ed. / M.I. Skolnik // McGraw-Hill Professional, 1990.
29. Volvo: система распознавания пешеходов // Популярная механика URL: <https://www.popmech.ru/vehicles/14592-tormozit-nelzya-davit/#part0> (дата обращения: 02.05.2019).
30. About Us // Perceptive Automata URL: <https://www.perceptiveautomata.com/about-us> (дата обращения: 02.05.2019).

*Дата поступления
в редакцию: 04.03.2020*

P.S. Rogov, V.P. Mishustov, D.A. Kolesnichenko, E.A. Sinitsyn

AUTOMATIC EMERGENCY BRAKING SYSTEMS. FEATURES OF IMPLEMENTATION AND COMPONENTS

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev

Purpose: Analysis of the effectiveness of automatic emergency braking systems. Search for the advantages and disadvantages of various detection sensors of the system.

Design/methodology/approach: In the comparison of the effectiveness of different detection sensors, attention was paid to the distance of objects detection, work in difficult weather conditions and dark time of day, the difficulty of installing the sensor in a vehicle.

Findings: Despite the large number of cars equipped with an automatic emergency braking system, many system implementation solutions continue to be seriously improved and are far from ideal.

Research limitations/implications: The present study provides a starting-point for further research in the field of concept and serial implementation of automatic emergency braking systems.

Originality/value: The study can be useful for choosing a detection sensor (radar, video camera, lidar) for an automatic emergency braking system.

Key words: active driver assistance systems, road safety, automatic emergency braking, radar, lidar, stereo camera, traffic accident.