

УДК 629.33-52

А.М. Иванов, С.Р. Кристальный, Н.В. Попов, М.А. Топорков, М.И. Исакова

НОВЫЕ МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ЭКСТРЕННОГО ТОРМОЖЕНИЯ И ОПЫТ ИХ ПРИМЕНЕНИЯМосковский автомобильно-дорожный
государственный технический университет, г. Москва

Предлагаются методы испытаний систем автоматического экстренного торможения легковых автомобилей. Проверка функционирования САЭТ осуществляется при движении автомобиля по направлению к различным неподвижным «целям». Оцениваются возможности САЭТ по распознаванию различных «целей», момент поступления сигнала предупреждения о столкновении и эффективность автоматического торможения. Испытательные заезды проводятся на различных опорных поверхностях. Для исключения повреждений автомобиля при столкновении с «целью» используется «мягкая» цель из картона или выполняется манёвр «объезд препятствия». Описан метод синхронизации сигнала предупреждения о столкновении с параметрической записью заезда. Проведены испытания САЭТ автомобиля Infiniti QX 60 Hi-tech. Проанализированы отказы САЭТ в различных условиях. Установлено, что средства технического зрения САЭТ Infiniti QX 60 Hi-tech распознают «мягкую» цель как препятствие.

Ключевые слова: DAS/ADAS, САЭТ, TTC, автоматическое торможение, цель, время до столкновения, полигонные испытания.

Введение

Всё большее количество производителей автомобилей предлагают в качестве опции на своих моделях системы помощи водителю (DAS/ADAS): системы удержания в полосе движения, системы автоматического экстренного торможения (САЭТ), системы адаптивного круиз-контроля, системы автоматической парковки и другие. Эти системы, несмотря на дополнительную стоимость, пользуются популярностью у покупателей. Так, по данным «Авторевю» [1], 15%-ный прирост новых клиентов марки «Субару» в Европе обеспечили не полный привод или оппозитный двигатель этих автомобилей, а фирменная система безопасности EyeSight. В свою очередь, покупатели возлагают определенные надежды на системы DAS/ADAS для обеспечения безопасности движения, которые должны быть проверены при испытаниях. В статье [2] перечисляются возможные проблемы при эксплуатации автомобилей с подобными системами и указывается необходимость их тестирования.

В рамках научной работы кафедры «Автомобили» МАДИ, выполняемой по государственному заданию Минобрнауки России, было решено проверить эффективность действия САЭТ автомобиля в различных дорожных ситуациях. Испытания проводились с целью получения информации о работе типичной современной САЭТ.

Задачами экспериментального исследования являлись:

1. Определение условий (скорость объекта, дистанция до цели, тип и смещение цели) срабатывания или отказа САЭТ.
2. Определение статистики отказов САЭТ.
3. Оценка своевременности поступления сигнала предупреждения о столкновении;
4. Оценка величины замедления автомобиля, реализуемого САЭТ.
5. Анализ адаптивности САЭТ к изменению состояния дорожного покрытия.
6. Определение устойчивости САЭТ к ложным срабатываниям.

Под отказом САЭТ рассматривалась ситуация несрабатывания сигнала предупреждения о столкновении.

Для проведения экспериментальных исследований были разработаны программа испытаний и методика выполнения испытательных заездов, а также собран измерительный комплекс для регистрации параметров объекта испытаний (ОИ).

Программа и методика испытаний

Для проверки основных функций САЭТ, определяющих общую эффективность действия системы, различные дорожные ситуации моделировались в соответствии с табл. 1.

Испытательные заезды проводились на сухом и влажном асфальтобетонном покрытии, а также на увлажненном базальте (для некоторых типов испытаний), имитирующем покрытие с низким коэффициентом сцепления.

Типы испытаний 1-7 позволяют определить возможности средств «технического зрения» САЭТ по обнаружению различных типов неподвижных препятствий, а также способность САЭТ к автоматическому снижению скорости движения. При выполнении испытаний 1-7 автомобиль движется прямолинейно по направлению к «цели».

В испытаниях 1, 3-7 после получения сигнала предупреждения о столкновении водитель не принимает мер к снижению скорости. Вне зависимости от факта срабатывания САЭТ в испытаниях 1, 3-7, водитель-испытатель выполняет манёвр объезда «цели» во избежание столкновения с ней (рис. 1). Данный маневр выполняется на минимально безопасном расстоянии от «цели». Маневр объезда препятствия позволяет с большей вероятностью избежать контакта с «целью», может быть осуществлён позже по сравнению с манёвром «торможение перед препятствием» и позволяет проанализировать работу САЭТ практически до самого препятствия.

Таблица 1

Программа испытаний САЭТ

Тип испытания	Манёвр	Цель	Скорость объекта испытаний, V , км/ч	Смещение «цели» E_{lat} , %	Дорожное покрытие
1	Объезд препятствия	«Мягкая» стена	40 60 80	0	Сухой асфальтобетон
2а	Прямое торможение (тормозит водитель)	«Мягкая» стена	40 60 80	0	Сухой асфальтобетон Увлажнённый асфальтобетон Увлажнённый базальт
2б	Прямое торможение (тормозит САЭТ)	«Мягкая» стена	40 60 80	0	Сухой асфальтобетон Увлажнённый асфальтобетон
3	Объезд препятствия	«Мягкая» стена	40 60 80	50	Сухой асфальтобетон
4	Объезд препятствия	Автомобиль	40 60 80	0	Сухой асфальтобетон
5	Объезд препятствия	Макет мотоцикла	40 60 80	0	Сухой асфальтобетон
6	Объезд препятствия	Велосипед	40 60 80	0	Сухой асфальтобетон
7	Объезд препятствия	Манекен	40 60 80	0	Сухой асфальтобетон
8	Прямой проезд	Автомобиль	40 60 80	100	Сухой асфальтобетон



Рис. 1. Маневр объезд препятствия (мягкая стена)

При выполнении испытания 2а после получения сигнала предупреждения о столкновении, водитель-испытатель производит экстренное торможение. Объект во время замедления остается в полосе движения вплоть до остановки перед «целью» или до удара о «цель».

Испытание 2б идентично 2а и отличается тем, что после подачи сигнала предупреждения о столкновении, водитель-испытатель не производит торможения, а ожидает замедления объекта от действия САЭТ. Испытание 2а позволяет оценить своевременность поступления сигнала предупреждения о столкновении.

Испытание 2б позволяет определить величину замедления, развиваемого САЭТ объекта испытаний без участия водителя.

Испытание 8 позволяют оценить устойчивость САЭТ к ложным срабатываниям на неподвижное примыкающее ТС.

При выполнении испытания 8 автомобиль движется прямолинейно по направлению к «цели», которая установлена в соседней полосе.

При составлении программы испытаний были проанализированы нормативные документы [3–6], а также использован опыт других подобных исследований [7–9].

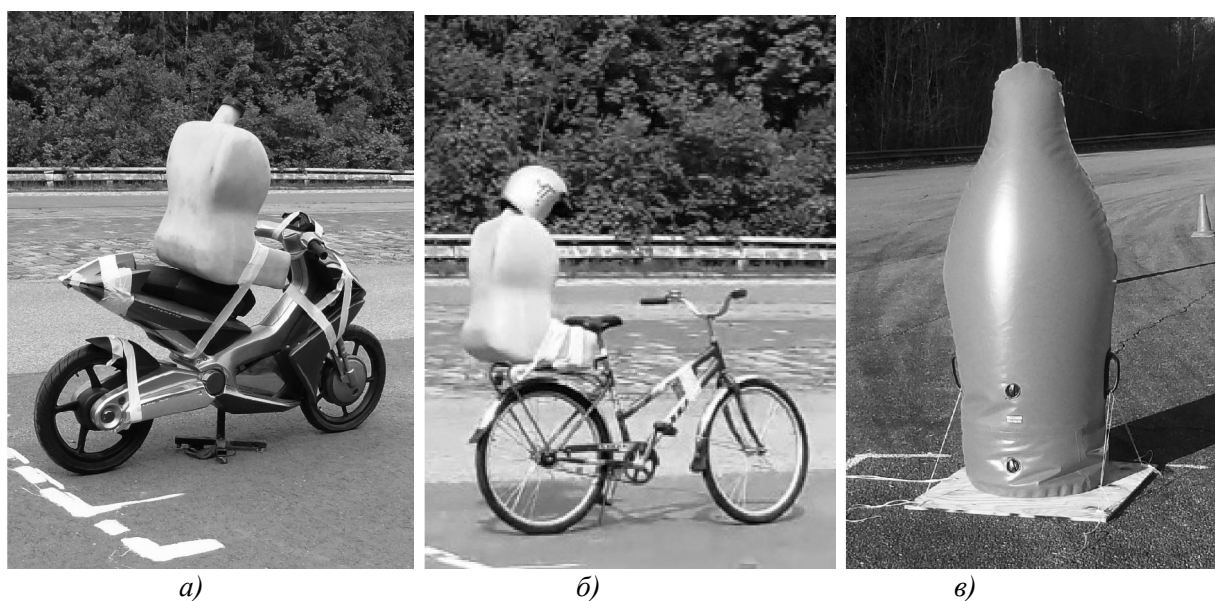


Рис. 2. «Цели»:

а – макет мотоцикла; *б* – велосипед; *в* – надувной манекен

Испытательные заезды были проведены на участке специальных дорог Центра испытаний НАМИ (г. Дмитров).

Описание «целей»

В качестве «целей» при испытаниях САЭТ были задействованы:

- «мягкая» стена (рис. 1);
- автомобиль;
- макет мотоцикла (рис. 2, а);
- велосипед (рис. 2, б);
- надувной манекен (рис. 2, в).

Для заездов, где имеется вероятность столкновения ОИ с «целью», применялась «мягкая» стена, выполненная из картона. На поверхности «мягкой» стены, обращенной, к приближающемуся ОИ, закрепляется металлизированное покрытие, необходимое для улучшения чувствительности радаром данной «цели». Основные размеры «цели» приведены на рис. 3.

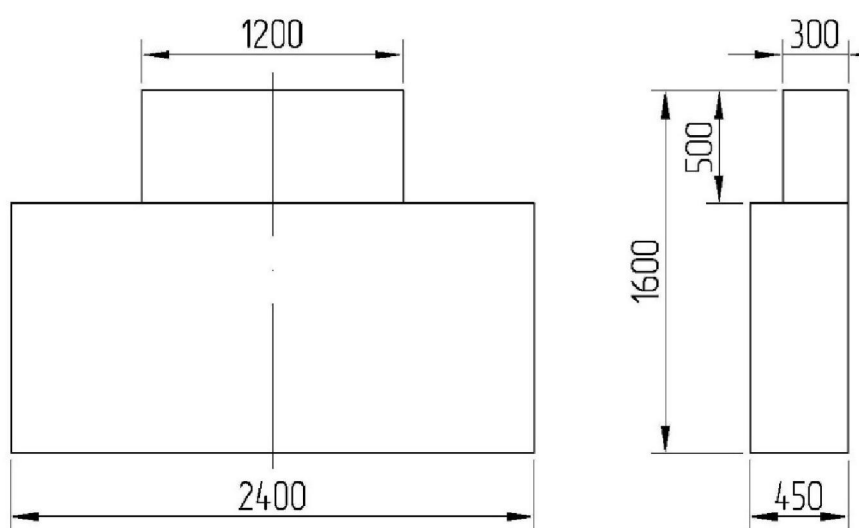


Рис. 3. Основные размеры «цели» «мягкая» стена

Преимущественное применение «мягкой цели» объясняется повышением безопасности испытательных заездов, при обязательном условии адекватного обнаружения такой цели со стороны САЭТ объекта испытаний.

Перед проведением заездов производилась разметка испытательного участка и фиксация географических координат «цели».

Под боковым смещением цели E_{lat} понимается поперечное расстояние между продольными осями объекта испытаний и «цели», измеряемое в процентах от ширины ОИ (рис. 4). При $E_{lat}=100\%$ цель располагается в соседней полосе с максимальным смещением от боковой поверхности ОИ не более 0,3 м по наружным зеркалам заднего вида.

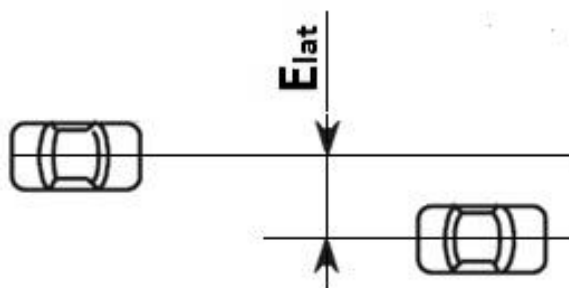


Рис. 4. Боковое смещение E_{lat} между ОИ и «целью»

Метод фиксации момента срабатывания сигнала предупреждения о столкновении

Для определения параметров движения автомобиля в момент подачи визуального и/или акустического сигнала предупреждения о столкновении был разработан метод, позволяющий синхронизировать время подачи этого сигнала с параметрической записью испытательного заезда.

Преимущество предлагаемого метода заключается в возможности фиксировать любые аудиовизуальные сигналы независимо от их природы: появление звукового сигнала, загорание контрольной лампы на панели приборов, появление сообщения на экране бортового компьютера и т.п.

Недостатки метода – отсутствие возможности зафиксировать тактильные сигналы (увеличение усилия на педали акселератора, натяжение ремня безопасности, быстрый провал тормозной педали и т.п.), сложность и большое время обработки данных. Факт подачи сигнала предупреждения о столкновении фиксируется видеокамерой. В поле зрения видеокamеры находится лампа (светодиод) внутренней световой индикации, которая загорается определенное время после начала параметрической записи. В блоке регистрации и обработки данных также фиксируется момент подачи и длительность цифрового сигнала, который управляет включением лампы световой индикации. По записи, сделанной видеокамерой, можно синхронизировать время поступления сигнала предупреждения о столкновении с параметрической записью. Внешняя лампа индикации позволяет при наличии наружной видеосъемки также синхронизировать с параметрической записью все процессы, происходящие с автомобилем во время испытательного заезда, например момент включения стоп-сигналов.

Объект испытаний (ОИ)

Для проведения испытаний компанией «INFINITI Россия» был предоставлен автомобиль Infiniti QX 60 Hi-tech, оснащенный системой FEB (Forward Emergency Braking) – системой экстренного торможения при опасности фронтального столкновения с функцией обнаружения пешеходов [10].

Система FEB использует радар (рис. 5, поз. а), установленный позади нижней решетки переднего бампера, для измерения расстояния до автомобиля, движущегося в той же полосе движения. Для обнаружения пешеходов предусмотрена камера (рис. 5, поз. б) [10], установленная сверху за ветровым стеклом. Система FEB функционирует при скоростях больше 5 км/ч (в диапазоне скоростей от 10 до 60 км/ч при обнаружении пешеходов).

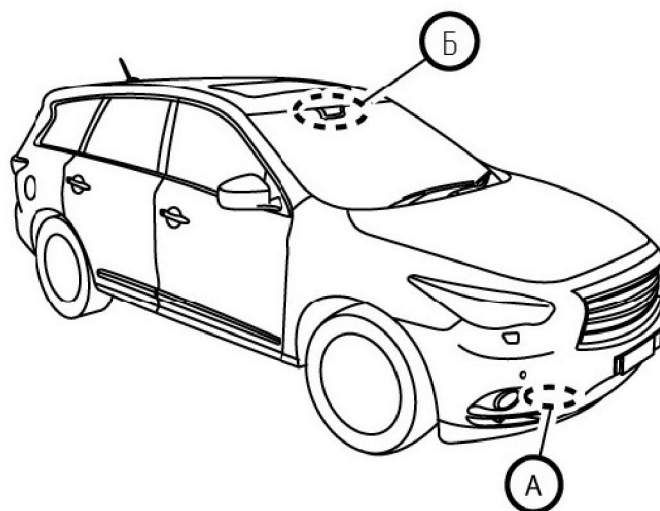


Рис. 5. Средства «технического зрения» систем помощи водителю объекта:

а – радар; б – камера

Измерительная и регистрирующая аппаратура

Для решения сформулированных выше задач экспериментального исследования на автомобиль была установлена следующая измерительная и регистрирующая аппаратура:

- динамометрическое измерительное рулевое колесо MEASUREMENT STEERING WHEEL (MSW) фирмы KISTLER, Германия;
- датчик усилия нажатия на тормозную педаль CPFTA фирмы KISTLER, Германия;
- выносной датчик угловой скорости колеса WPT фирмы KISTLER, Германия для определения окружной скорости левого переднего колеса;
- датчик ускорений и угловых скоростей Tri-Axial Navigational Sensor (TANS) фирмы KISTLER, Германия;
- GPS антенны фирмы IMC (Германия) и JAVAD (США);
- универсальная измерительная система сбора и обработки данных CS 1016 FAMOS Online фирмы IMC, Германия.

Питание оборудования осуществлялось от бортовой сети автомобиля через блок распределения питания Small 12V Power Distributor Box фирмы KISTLER, Германия.

Регистрация момента подачи визуального сигнала предупреждения о столкновении на приборной панели производилась с помощью видеокамеры, укрепленной на кожухе рулевой колонки.

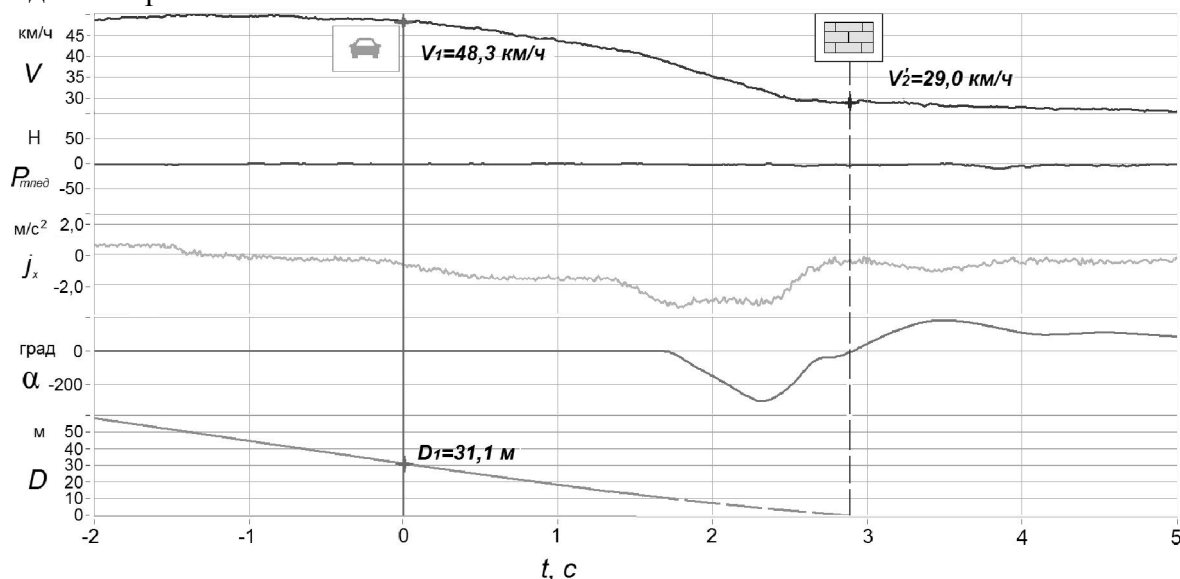
Обработка результатов испытаний

По каждому испытательному заезду были построены зависимости от времени (рис. 6):

- скорости движения V ;
- продольного замедления (j_x);
- угла поворота рулевого колеса (α);
- расстояния от ОИ до «цели» (D);
- усилия нажатия на педаль тормоза ($P_{тпед}$).

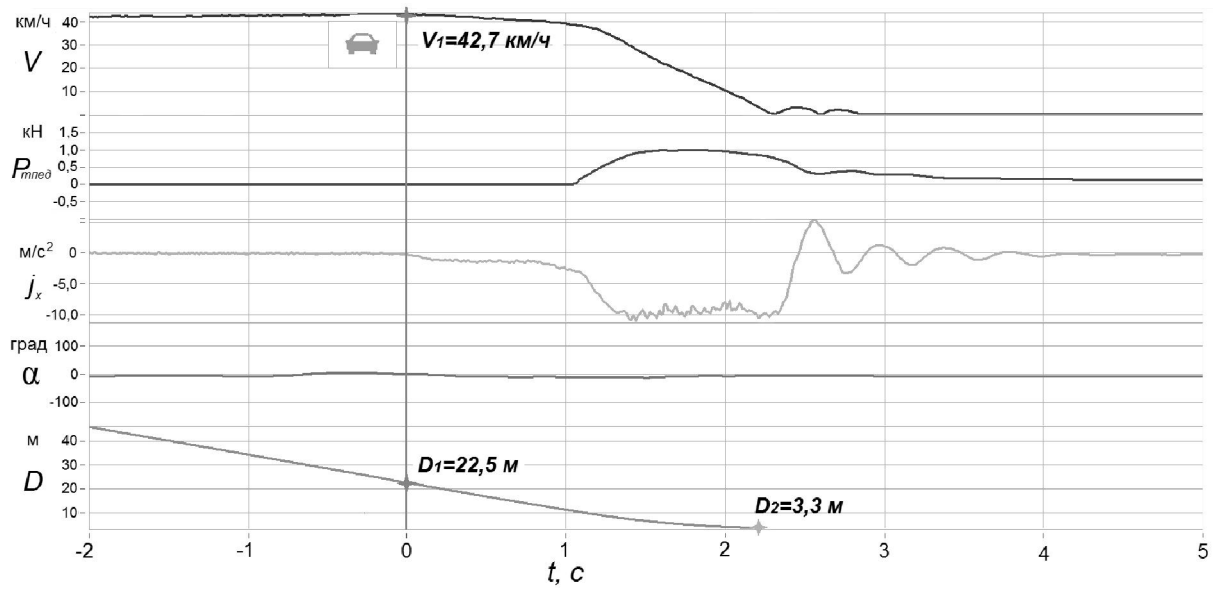
За начало отсчёта времени на графиках принят момент срабатывания предупреждения о возможном столкновении. Дистанция между ОИ и «целью» определяется по координатам системы глобального позиционирования.

Примеры построенных зависимостей для некоторых различных типов испытаний приведены на рис. 6.

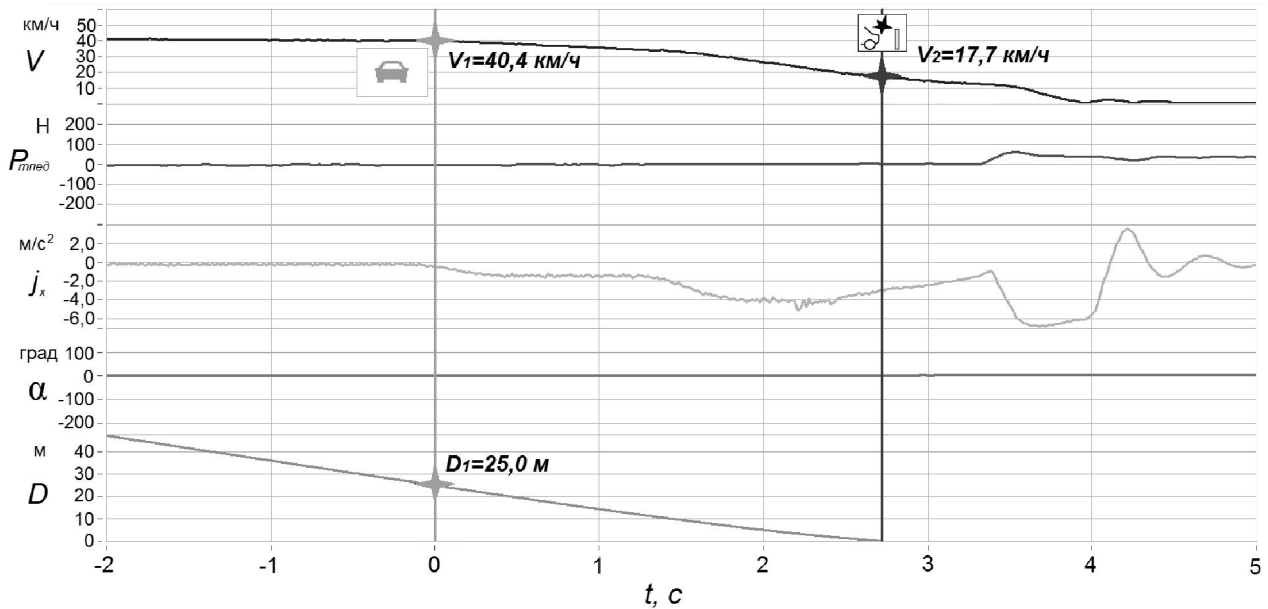


a)

Рис. 6. Пример зависимостей для испытаний 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8 (a)



б)



в)

Рис. 6. (Окончание). Пример зависимостей для испытания 2а (б);
пример зависимостей для испытания 2б (в)

Условные обозначения на рис. 6:

V_1 – продольная скорость ОИ в момент срабатывания предупреждения о возможном столкновении; D_1 – дистанция между ОИ и «целью» в момент срабатывания предупреждения о возможном столкновении; D_2 – дистанция между ОИ и «целью» в случае остановки перед «целью»; V_2 – продольная скорость ОИ в момент столкновения с «целью»; V'_2 – гипотетическая продольная скорость ОИ в момент столкновения с «целью» (при проезде мимо «цели») – скорость ОИ в момент столкновения с «целью», если бы не проводился объезд препятствия;



– момент срабатывания сигнала предупреждения о столкновении;



– момент условного касания (при выполнении объезда препятствия) ОИ «цели»;



– момент касания (только для мягкой стены) ОИ «цели».

Анализ результатов испытаний

После поступления сигнала предупреждения о столкновении САЭТ начинает сразу же автоматическое торможение и обеспечивает уровень установившегося замедления на сухом асфальтобетоне перед «целями» мягкая стена или автомобиль порядка 2-3 м/с² (со скорости 40 км/ч) и порядка 3-4 м/с² (со скорости 60 км/ч). Такой эффективности автоматического торможения оказывается недостаточно для остановки перед «целями».

На сухом асфальтобетоне при выполнении испытания 2а ОИ успевал остановиться перед целью, но на увлажнённых асфальтобетоне и базальте происходило столкновение. Таким образом, данная система САЭТ не адаптируется к изменению коэффициента сцепления опорной поверхности.

Ложных срабатываний по испытанию 8 не зафиксировано.

Статистика отказов САЭТ в зависимости от разных условий представлена в табл. 2 и табл. 3.

Таблица 2

Отказы САЭТ по типам «целей» и испытаний

Тип испытания	«Цель»	Количество заездов		Количество отказов САЭТ, ед. (%)	
			Итого: 59		Итого: 4 (7 %)
1	«Мягкая» стена	34	Итого: 59	2	Итого: 4 (7 %)
2а, 2б		22		2	
3		3		0	
4	Автомобиль	13		2 (15 %)	
5	Макет мотоцикла	10		3 (30 %)	
6	Велосипед	9		3 (33 %)	
7	Манекен	18		5 (28 %)	

Таблица 3

Отказы САЭТ в зависимости от скорости движения ОИ

«Цель»	Количество отказов в зависимости от скорости, км/ч		
	40	60	80
«Мягкая» стена	1	1	2
Автомобиль	0	0	2
Макет мотоцикла	1	0	2
Велосипед	0	0	3
Манекен	1	1	3
Всего отказов:	3	2	12
Выполнено заездов:	40	33	36

Анализ табл. 2 показывает, что данная система САЭТ лучше всего распознает «цели» мягкая стена и автомобиль.

Также было выявлено увеличение числа отказов САЭТ с ростом скорости ОИ (табл. 3).

Заблаговременность появления предупреждения оценивается параметром *TTC* (Time to collision) – время до столкновения. Время до столкновения – время, через которое произойдет столкновение ОИ с «целью» при условии неизменной текущей относительной скорости ОИ и цели.

Время до столкновения с неподвижной целью рассчитывается по следующей формуле: $TTC = D_1 / V_1$.

В табл. 4 представлено сравнение средних значений *TTC* для различных «целей» при скоростях срабатывания предупреждения о столкновении 40 и 60 км/ч.

В табл. 5 представлено сравнение средних значений *TTC* для различных опорных поверхностей.

Таблица 4

Значение ТТС для различных «целей»

Тип «цели»	ТТС, с	
	$V_{сраб}=40$ км/ч	$V_{сраб}=60$ км/ч
«Мягкая» стена	2,18	2,42
Автомобиль	2,06	2,55
Велосипед	0,98	1,51

Таблица 5

Значение ТТС для различных опорных поверхностей
(испытания 2а, 2б, «цель» – мягкая стена, $V=60$ км/ч)

Опорная поверхность	ТТС, с
Сухой асфальтобетон	2,25
Увлажнённый базальт	2,29

Адекватность срабатывания САЭТ на мягкую цель подтверждается малым процентом отказов (табл. 2) и идентичностью параметра ТТС для мягкой «цели» и реального автомобиля (табл. 4).

Сигнал предупреждения о столкновении с велосипедом поступает гораздо позже, чем с мягкой стеной или автомобилем. Поэтому автоматическое торможение не успевает начаться до выполнения маневра объезда препятствия.

Анализ табл. 5 подтверждает ранее сделанный вывод об отсутствии адаптивности алгоритма работы САЭТ к изменению состояния опорной поверхности.

Заключение

Для проведения испытаний систем автоматического экстренного торможения предложен новый метод. Особенности предлагаемого метода испытаний:

- испытания проводятся на опорных покрытиях с различным сцеплением;
- исследуется взаимодействие с большим количеством «целей»;
- введён манёвр «объезд препятствия»;
- анализируется большее количество параметров движения автомобиля;
- используются новые методы обработки испытательных данных.

По результатам проведённого экспериментального исследования САЭТ автомобиля Infiniti QX 60 Ni-tech можно сделать следующие выводы:

1. Средства технического зрения САЭТ объекта распознают тип «цели» – «мягкая стена» как препятствие. Данная «цель» может применяться и в дальнейших испытаниях.

2. Средства технического зрения САЭТ объекта плохо распознают тип «цели» – неподвижный велосипед. Данный аспект накладывает ограничения на диапазон функциональной безопасности САЭТ.

3. Замедление, развиваемое объектом, во время функционирования САЭТ (без участия водителя) недостаточно для полной остановки объекта перед неподвижным препятствием, что также сужает эффективный диапазон системы.

4. Алгоритм подачи сигнала предупреждения о столкновении не зависит от сцепных свойств покрытия, что приводит к значительному снижению функциональной безопасности САЭТ на скользких покрытиях.

5. Большое количество отказов САЭТ на скорости 80 км/ч косвенно свидетельствует о недостаточной дистанции обнаружения препятствия, что также сужает диапазон применения ОСЭТ.

6. Срабатываний САЭТ на «ложную цель» зафиксировано не было.

Библиографический список

1. Растегаев, О. Outback в снегу // Авторевю. – 2018. – № 6 (630). – С. 36–37.
2. Приходько, В.М. Методики тестирования автоматизированных систем управления автомобилем / В.М. Приходько [и др.] // Вестник Московского автомобильно-дорожного технического университета. – 2017. – № 4(51). – С. 10–15.
3. Правила ЕЭК ООН № 131 (01) . Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения автотранспортных средств в отношении систем автоматического экстренного торможения (САЭТ). – URL: <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2017/R131r1am1r.pdf> (дата обращения 04.04.2018).
4. ГОСТ Р ИСО 22839-2017 Интеллектуальные транспортные системы. Системы снижения тяжести последствий от столкновения с движущимся впереди транспортным средством. Работа, эксплуатационные характеристики и требования к проверке (ISO 22839:2013, IDT). – М.: Стандартиформ, 2017. – 29 с.
5. ГОСТ Р ИСО 15623-2017 Интеллектуальные транспортные системы. Системы предупреждения столкновений с движущимся впереди транспортным средством. Требования к эксплуатационным характеристикам и методы испытания (ISO 15623:2013, IDT). – М.: Стандартиформ, 2017. – 28 с.
6. Safety Assist. – URL: <https://www.euroncap.com/ru/для-инженеров/protocols/safety-assist/> (дата обращения 04.04.2018).
7. Сачков, М. Топ-стоп / М. Сачков // За рулём. – 2018. – № 2. – С. 42-53.
8. NCAS-DRI-CIB-16-08 New car assessment program. Crash imminent braking system confirmation test. 2016 Nissan Rogue. Final Report. U. S. Department of transportation. – 2016. – P. 108.
9. NCAS-DRI-CIB-17-06 New car assessment program. Crash imminent braking system confirmation test. 2017 Mitsubishi Outlander. Final Report. U. S. Department of transportation. – 2017. – P. 120.
10. Руководство по эксплуатации автомобиля Infiniti QX 60. – URL: <https://www.infiniti.ru/content/dam/Infiniti/Russia/manuals/qx60.pdf> (дата обращения 10.11.2017).

*Дата поступления
в редакцию 29.04.2018*

A.M. Ivanov, S.R. Kristalniy, N.V. Popov, M.A. Toporkov, M.I. Isakova

**NEW METHODS OF TESTING AUTOMATIC EMERGENCY BRAKING SYSTEMS
AND THEIR APPLICATION**

Moscow Automobile and Road Construction state technical university (MADI)

Purpose: The article proposes the methods of testing automatic emergency braking systems (AEBS) in passengers cars.
Working methods: Checking the functioning of the AEBS is carried out when the car moves in the direction of various fixed "targets." Estimates the possibility of the AEBS for recognizing various "targets", the moment of arrival of the collision warning signal and the efficiency of automatic braking. Test races are conducted on different support surfaces. The "soft target" made from carboard or performing by-pass maneuver, are used to exclude damaging the car from a collision. This article describes the method of synchronizing a collision warning signal with a parametric entry record.
Result: AEB system was tested on Infiniti QX 60 Hi-tech. All failures of AEBS in road conditions are analyzed.
Conclusions: The AEB system can recognize the "soft target" as an obstacle. This "target" can be used in further testing of such systems.

Key words: AEBS / AEB system, emergency braking, target, time before collision, test race.