

Научная статья
УДК 629.3.018.7

Разработка методики испытаний для оценки влияния различных условий эксплуатации на работу оптической составляющей системы ADAS

Филипп Кириллович Дьяков¹, Мия Васильевна Митрохина², Максим Иванович Алексеенков³, Алексей Николаевич Андреев⁴, Илья Михайлович Шипорин⁵

^{1,2,3,4}Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия

⁵Московский финансово-промышленный университет «Синергия», Москва, Россия

¹dzzdp@mail.ru

²m.v.mitrokhina2002@gmail.com

³alexeenkovmaxim@mail.ru

⁴andr_aleksei@mail.ru

⁵ShiporinIM@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматриваются причины потери цели для оптической видимости системой advanced driver-assistance system (ADAS) при эксплуатации в различных условиях. Вследствие этого наблюдаются нарушения в работе системы ADAS в целом, которые могут привести к дорожно-транспортному происшествию. Такая проблема характерна для условий эксплуатации в любых условиях. Целью работы является описание разработанной авторами методики сравнительных испытаний автомобилей на дорогах общего пользования. Задачей данной методики является сравнение поведения автомобилей при разных условиях эксплуатации, влияющих на потерю цели, при работе адаптивного круиз-контроля и удержания в полосе на дорогах общего пользования. В рамках поставленной задачи разработан алгоритм подготовки к испытаниям. Описано оборудование, необходимое для проведения испытаний. Обосновано количество задействованных автомобилей, а также их взаимное расположение на проезжей части во время испытаний. Конкретизированы и детально описаны обязанности каждого члена команды испытателей. Разработана методика замера времени с момента потери и до момента восстановления захвата цели. Обоснован выбор протяжённости испытаний по пробегу и направления движения для получения достаточного количества замеров для последующего анализа. Приведены результаты проведенных испытаний.

Ключевые слова: адаптивный круиз-контроль, камера, ADAS, захват цели, ДТП, распознавание цели, автомобиль-лидер, машинное зрение.

Для цитирования: Дьяков Ф.К., Митрохина М.В., Алексеенков М.И., Андреев А.Н., Шипорин И.М. Разработка методики испытаний для оценки влияния различных условий эксплуатации на работу оптической составляющей системы ADAS // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2023. №4 (38).

Original article

Development of a test procedure to assess the impact of various operating conditions on the operation of the optical composite system ADAS

Philip K. Dyakov¹, Mia V. Mitrokhina², Maksim I. Alexeenkov³, Alexey N. Andreev⁴,
Ilia M. Shiporin⁵

^{1,2,3,4}Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia

⁵Moscow financial and industrial university «Synergy», Moscow, Russia

¹dzzdp@mail.ru

²m.v.mitrokhina2002@gmail.com

³alexeenkovmaxim@mail.ru

⁴andr_aleksei@mail.ru

⁵ShiporinIM@yandex.ru

Abstract. The article discusses the reasons for the loss of the target for optical visibility by the advanced driver-assistance system (ADAS) system when operating under different conditions. As a consequence, the ADAS system as a whole is observed to malfunction, which can lead to accidents. Such a problem is typical for operating conditions in all conditions. The purpose of this work is to describe the methodology developed by the authors of comparative testing of cars on public roads. The task of this methodology is to compare the behavior of cars under different operating conditions, affecting the loss of purpose, when the adaptive cruise control and lane keeping on public roads. As a part of the task, the algorithm for the test preparation has been developed. The equipment required for the tests is described. The number of vehicles involved is justified, as well as their mutual location on the roadway during the tests. The responsibilities of each test team member are specified and described in detail. A methodology for measuring the time from the time of loss to the time of recapture of the target has been developed. The choice of the test length by run and driving direction is justified in order to obtain a sufficient number of measurements for subsequent analysis. The results of the tests are given.

Keywords: adaptive cruise control, camera, ADAS, target capture, road accident, target recognition, leader car, machine vision.

For citation: Dyakov P.K., Mitrokhina M.V., Alexeenkov M.I., Andreev A.N., Shiporin I.M. Development of a test procedure to assess the impact of various operating conditions on the operation of the optical composite system ADAS. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*. 2023. №4 (38).

Введение

Сегодня большинство современных моделей автомобилей оснащены системой ADAS (Advance Driver Assistance System – активная электронная система помощи водителю) [2]. Данная система на основании показателей с

приборов принимает решение по движению автомобиля, спасая человека в критических ситуациях. Одним из наиболее важных приборов является камера. Оптическое оснащение системы ADAS является наиболее бюджетным и эффективным устройством по сравнению с радаром и лидаром, кроме этого, легко взаимодействует с нейросетями [6]. Благодаря совокупности этих факторов камера устанавливается на всех современных автомобилях, оснащенных системой ADAS. Камера фиксирует не только движение цели в своей полосе, но и других участников дорожного движения, находящихся в поле зрения, а также их перемещения. Кроме того, камера умеет распознавать знаки, однако помимо всех преимуществ оптические системы машинного зрения имеют и недостатки, а именно влияние различных внешних факторов на распознавание цели.

Влияние камеры на эффективность работы системы ADAS велико, поэтому было принято решение о выявлении проблем и разработке методов испытаний [8].

По данным ГИБДД общее количество дорожно-транспортных происшествий в России за 2021 год составило около 133 333, в которых погибло 14 874 человек и 167 856 человек получили ранения. Из них на автомагистралях (федеральных автомобильных дорогах – ФАД) случилось 19147 ДТП; погибло 4851 человека; ранено 26906.

По итогам первых шести месяцев 2022 года на территории Федерации зарегистрировано 63 537 дорожно-транспортных происшествий, в которых погибли 5 651 человек, получили ранения 67 708 [2].

Работа системы ADAS направлена не только на увеличение безопасности при возникновении критической ситуации на дороге, но и на предотвращение таких ситуаций. В правилах ЕЭК ООН № 157 (единообразные предписаниях, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении автоматизированной системы удержания в пределах полосы движения (АСУП)), говорится о том, что применение

систем ADAS рассматривается в контексте использования на автомагистралях. Поэтому при внедрении таких систем, количество ДТП и риски их возникновения снижаются [1].

На данный момент серийные модели автомобилей крупных производителей соответствуют второму уровню автономности согласно стандарту SAE J 3016-2018 – частичная автоматизация. На этом уровне автономности большую роль на работу системы оказывает камера. При реализации такого уровня автоматизации автомобиль способен самостоятельно контролировать разгон и торможение при помощи интеллектуальных систем - Adaptive Cruise Control (ACC) (в некоторых обозначениях ICC: intelligence cruise control - интеллектуальный круиз контроль), а также поддерживать полосу движения - система Line keep assist (LKA). Но водитель должен следить за ситуацией и принимать управление на себя для выполнения манёвров: поворот, обгон, разворот и т.п.

В ходе эксплуатации устройств оптического зрения системы ADAS были выявлены следующие проблемы:

- ухудшение распознавания цели с наступлением сумерек;
- ухудшение распознавания цели с проявлением осадков;
- ухудшение распознавания цели в туман;
- ухудшение распознавания цели ночью;
- ухудшение распознавания цели при засвечивании фарами

встречного автомобиля;

- ухудшение распознавания при засвечивании цели;
- влияние задних габаритных огней на распознавание цели.

Автомобильные камеры обычно располагают на внутренней стороне ветрового стекла [4]. При таком расположении камера находится в зоне работы стеклоочистителей, которые обеспечивают очищение поверхности перед камерой. По этой причине у камеры не возникает проблем с распознаванием, за исключением проявления осадков [3].

1. Методика проведения дорожных испытаний

Целью данной методики является разработка испытаний, позволяющих оценивать влияние различных условий эксплуатации на качество работы камеры и как следствие всей системы ADAS. Предложенная методика позволяет оценить зависимость дистанции обнаружения объектов от различных погодных и искусственных условий эксплуатации [7].

Настоящую методику можно применять для всех автомобилей, оснащённых оптическим комплексом систем ADAS. Одновременно можно тестировать любое количество автомобилей. На практике чрезмерное увеличение количества испытуемых автомобилей резко увеличивает не только затраты финансов и людских ресурсов на проведение эксперимента, но и делает его трудно управляемым с точки зрения организации процесса. Оптимальное количество тестируемых автомобилей – три или четыре.

Испытательное оборудование:

1. Автомобиль, оснащенный радаром и камерой системы ADAS.

При проведении сравнительных испытаний используются минимум три транспортных средства.

2. Автомобиль-лидер, белого и черного цвета для контраста, за которым следует испытуемый автомобиль. Автомобили должны быть оснащены адаптивным круиз-контролем для поддержания скорости движения. Если проводятся сравнительные испытания то, необходимо иметь одинаковые автомобили-лидеры для всех испытуемых автомобилей, для создания одинаковых условий проведения испытаний.

3. Регистрирующая аппаратура для испытуемого автомобиля, чтобы регистрировать параметры с шины CAN в реальном времени.

4. Видеорегиистратор, оснащенный системой ADAS на базе android, фиксирует дорожную ситуацию перед автомобилем; устанавливается строго по центру лобового стекла (рис. 1).

5. Радиостанция для испытуемого автомобиля, автомобиля-лидера и для сотрудника, составляющего протокол.



Рис. 1. Видеорегистратор, оснащенный системой ADAS на базе android

2. Территория проведения испытаний.

На основании накопленного авторами опыта использования ADAS можно выделить, как минимум, три фактора, подтверждающих, что тестирование по данной методике лучше проводить на автомагистралях и дорогах общего пользования.

1. Для получения приемлемых результатов необходимо проехать десятки, а то и сотни километров. Автомагистрали позволяют эксплуатировать тестируемые ТС в единообразных, стабильных условиях: длительное движение с постоянной скоростью, поддержание постоянного интервала между автомобилями и т.д.

2. Современная загрузка автомагистралей в России не столь плотная, как загрузка других трасс федерального уровня, особенно платных. Нет светофоров, перекрёстков и пешеходных переходов в одном уровне и других дорожных объектов, которые меняют режим движения.

3. Автомагистрали оснащены достаточным количеством разворотов, что позволяет при разных условиях проводить испытания на одном и том же участке дороги [5].

4. Поэтому для проведения испытаний была выбрана скоростная автомобильная дорога М-9 Москва–Волоколамск «Балтия»

5. Основным параметром, влияющим на выбор направления движения, являются погодные условия. Но так же необходимо учесть наличие удобных разворотов, карманов для остановок, а также наличия участков пустынных прилегающих дорог.

Испытания. Ограничений по протяженности (в километрах) отсутствует. Заезд продолжается до тех пор, пока испытуемый автомобиль не обнаружит автомобиль-лидер, при обнаружении автомобиля-лидера скорость движения снижается, далее автомобили двигаются с замедлением до полной остановки. Количество заездов строго не регламентировано, чем больше заездов, тем точнее результаты.

Последовательность движения автомобилей во время проведения испытаний. В ходе проведения испытаний на дорогах общего пользования будут проработаны следующие сценарии:

1. Следование за автомобилем-лидером днем при нормальных погодных условиях.
2. Следование за автомобилем-лидером днем при появлении осадков (дождя).
3. Следование за автомобилем-лидером днем в туман.
4. Следование за автомобилем-лидером с наступлением сумерек.
5. Следование за автомобилем-лидером в сумерках.
6. Следование за автомобилем-лидером ночью.
7. Следование за автомобилем-лидером при искусственном дорожном освещении.

8. Следование за автомобилем-лидером при различном положении солнца.
9. Следование за автомобилем-лидером при засвечивании ближним/дальним светом со встречной полосы.
10. Следование за автомобилем-лидером, поднимающим за собой пылевое/водное облако.

Первым движется автомобиль-лидер (ТСЛ) со скоростью 80 км/ч, за ним движется испытуемый автомобиль (ОИ) со скоростью 90 км/ч. Автомобили следуют друг за другом по одной и той же полосе (рис. 2).

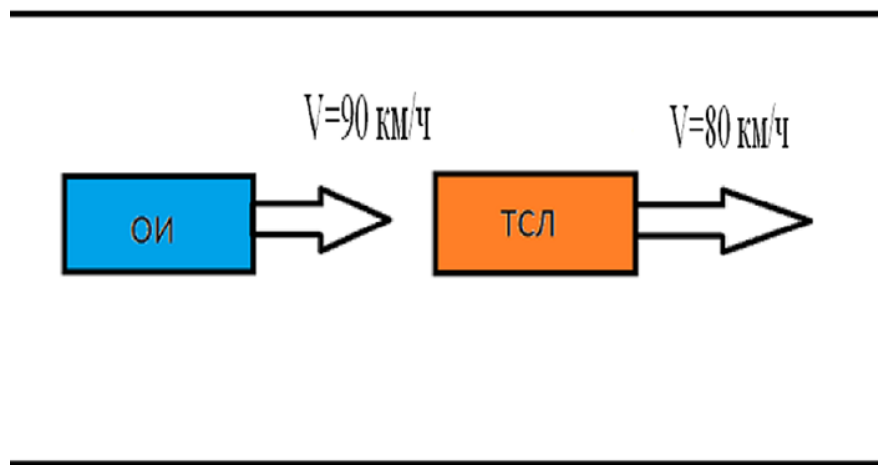


Рис. 2. Последовательность движения во время заезда

В случае, если система не срабатывает или срабатывает слишком поздно – дистанция между автомобилями становится критической (может произойти столкновение), то водителю, находящемуся в ОИ необходимо визуально оценить расстояние и выполнить торможение или манёвр-уклонение, для того чтобы избежать столкновения (рис. 3).

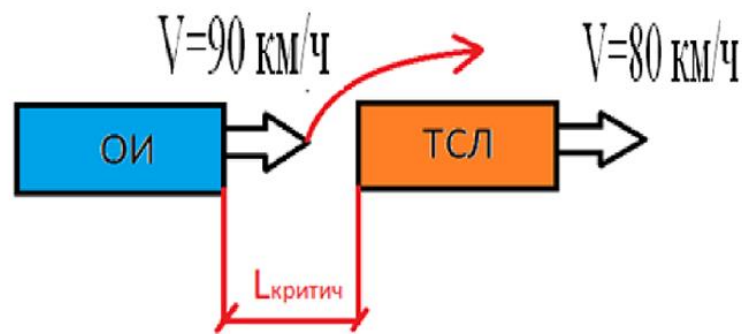


Рис. 3. Действия ОИ в случае возникновения аварийной ситуации

Для ТСЛ была выбрана скорость 80 км/ч, так как это минимальная комфортная скорость для движения по автомагистрали. Выбор минимальной скорости цели обоснован безопасностью [9].

Для ОИ была выбрана скорость 90 км/ч, чтобы отработать сближение со скоростью 10 км/ч. Варианты со скоростью сближения 20 км/ч и 30 км/ч не рассматриваются. Потому что время фиксации момента распознавания занимает 1 секунду, за это время при скорости сближения 10/20/30 км/ч автомобиль преодолет 2,78/ 5,56/ 8,33 метров соответственно, при этом дистанция распознавания камеры не изменяется. Поэтому выбрана скорость с минимальной погрешностью для сбора данных, а именно 90 км/ч [10].

Для отработки каждого сценария требуется минимум три заезда, увеличение числа заездов увеличивает точность результатов.

Подготовка к испытаниям:

1. На испытуемых автомобилях определяем особенности конструкции камер и их расположения, нахождение камеры в зоне очистки, работе очистительных систем лобового стекла автомобиля и АСС.
2. Подготовка измерительных приборов, мест крепления, consult и камеры.

3. Установка видеорегистратора на испытуемый автомобиль. Для проведения испытаний необходимо установить наше оптическое устройство строго по центральной линии автомобиля, и произвести калибровку (рис. 4-5).

4. Радиостанция для испытуемого автомобиля, автомобиля-лидера и для сотрудника, составляющего протокол.

5. Предварительный заезд для ознакомления с особенностями работы системы ADAS и ACC: особенности контроля и управления системой ACC, наиболее информативный режим дисплея приборной панели, эффективность замедления/торможения в режиме ACC, скоростной диапазон работы системы.

6. Подтверждение работоспособности адаптивного круиз-контроля в диапазоне скоростей необходимых для проведения испытаний по составленной методике.

7. Установка регистрирующей аппаратуры для записи параметров автомобиля с CAN шины на испытуемый автомобиль.

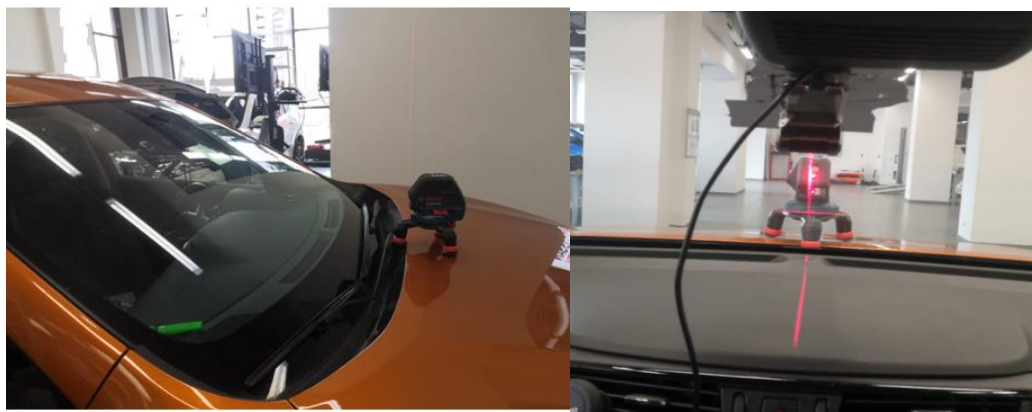


Рис. 4. Установка лазерного уровня по центру автомобиля, нахождение центра лобового стекла для установки видеорегистратора

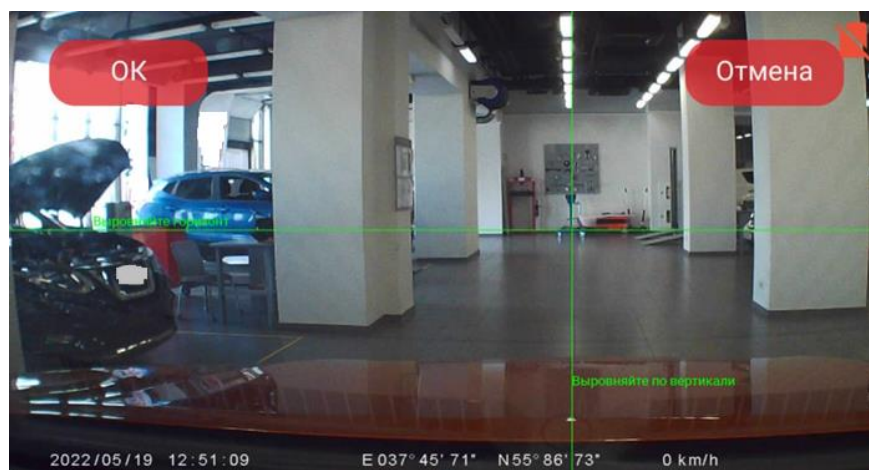


Рис. 5. Калибровка видеорегистратора после установки

Порядок проведения испытаний

1. Перед началом движения необходимо синхронизировать время на испытуемом автомобиле и автомобиле-лидере.
2. Автомобили начинают движение последовательно друг за другом. Первым начинает движение автомобиль-лидер, за ним следует испытуемый автомобиль.
3. Автомобиль-лидер движется с постоянной, установленной по круиз-контролю скоростью, в данном случае 80 км/ч.
4. Испытуемый автомобиль движется за автомобилем-лидером с постоянной скоростью, установленной круиз-контролем.
5. На интеллектуальном круиз-контроле испытуемых ТС должна быть предустановлена скорость выше скорости лидера на 10 км/ч для сценариев на дорогах общего пользования. Если водитель осознает, что ускорение приводит к критическому сокращению дистанции, то необходимо выполнить торможение, чтобы избежать столкновения с автомобилем-лидером. В случае невозможности выполнения торможения необходимо выполнить уклонение-объезд, как было описано ранее. Для испытаний на полигоне скорость устанавливается согласно действиям, описанным ранее.
6. После установки всех параметров автомобили начинают движение, со скоростями, указанными ранее. Движение продолжается до тех пор, пока камера не обнаружит автомобиль-лидер, оповестив водителя

соответствующей индикацией на экране android. Для испытаний на полигоне движение осуществляет только ОИ, оно прекращается после торможения системой.

7. При включении соответствующей индикации экипаж испытуемого автомобиля фиксирует этот момент времени при помощи регистрирующей аппаратуры.

8. При обнаружении лидера экипаж испытуемого ТС оповещает по радиосвязи всех участников испытаний.

9. После выше описанного оба ТС продолжают движение со снижением скорости до полной остановки.

10. Сотрудник, ведущий протокол фиксирует время включения индикации.

11. Процедура повторяется для каждого критерия минимум 3 раза

12. Целесообразно проводить заезды в двух направлениях

13. В ходе проведения испытаний сотрудник, выделенный для ведения записей, заполняет протокол, в котором указаны дистанция распознавания камеры. В случае если система не сработала, то вместо времени срабатывания системы в протокол вносится отметка - «объект не обнаружен» [11].

Операции после завершения испытаний

1. Фиксация времени завершения заездов.

2. Сохранение данных, записанных измерительной аппаратурой.

3. Обслуживание автомобилей после заездов: отключение аппаратуры, мойка.

4. Обработка результатов.

Регистрируемые параметры. В процессе испытаний регистрировалась дистанция распознавания объекта камерой, [м].

Результаты, полученные в процессе испытаний, приведены ниже (табл. 1). Дистанция в момент захвата цели камерой определялась по штатному радару испытуемого автомобиля.

Таблица 1

Испытания на автомагистралях

Тип заезда	Дистанция распознавания (м)		Средняя дистанция распознавания (м)		Процент видимости (%)	
	Черная цель	Белая цель	Черная цель	Белая цель	Черная цель	Белая цель
Нормальные условия, «День»	52,4	46,1	49,7	51,4	100%	100%
	44,5	53,0				
	52,2	55,1				
Мелкие осадки («Дождь»)	48,4	45,2	46,8	42,9	94%	83%
	44,9	44,1				
	47,0	39,5				
Сильные осадки («Дождь»)	27,3	28,6	31,6	27,7	64%	54%
	35,4	24,7				
	32,1	29,8				
«Начало сумерек», цель без «ЗО»	40,2	52,4	44,7	51,8	90%	101%
	46,0	50,1				
	48,9	44,4				
	41,8	55,0				
	46,8	57,1				
«Начало сумерек», цель с «ЗО»	52,5	48,5	51,1	53,9	103%	105%
	52,8	59,2				
	47,9	54,0				
«Сумерки», цель без «ЗО»	41,1	39,4	43,6	43,7	88%	85%
	45,7	48,7				
	43,9	42,9				
«Сумерки», цель с «ЗО»	43,6	25,4	45,2	33,8	91%	66%
	46,6	41,2				
	45,4	34,8				
«Ночь», ближний свет, цель с «ЗО»	36,4	26,4	36,6	27,1	74%	53%
	39,7	29,4				
	33,6	25,4				
«Ночь», ближний свет, цель без «ЗО»	7,0	Не видит	9,2	0	18%	0%
	10,8					
	9,8					
«Ночь», дальний свет, цель с «ЗО»	34,7	Не видит	37,6	0	76%	0%
	40,6					
	37,5					
«Ночь», дальний свет, цель без «ЗО»	37,2	Не видит	32,3	0	65%	0%
	31,5					
	28,3					
Искусственное освещение	39,9	42,5	39,9	42,3	80%	82%
	40,0	40,4				
	39,8	44,0				

Заключение

В данной статье были описаны алгоритм подготовки к испытаниям и порядок их проведения. В течение весны 2021-2022 гг., согласно описанной информации, было проведено несколько испытаний. Все испытания проводились на трассе М-9 Москва–Волоколамск.

На основании анализа проведенных испытаний были сделаны следующие выводы:

1. В первую очередь необходимо рассматривать сценарии, которые снижают дистанцию распознавания цели камерой на 30% и более. Для цели черного цвета приоритетными являются следующие сценарии:

- 1) сильные осадки;
- 2) ночь;
- 3) туман.

2. Для цели белого цвета приоритетными являются следующие сценарии:

- 1) сильные осадки;
- 2) сумерки;
- 3) ночь;
- 4) туман.

3. Необходимо доработать алгоритм обработки данных с камеры, для улучшения распознавания целей различных цветов в темное время суток, как с включенными габаритными огнями, так и без них.

4. Необходимо разработать методику определения влияния засвечивания фарами встречного автомобиля на потерю захвата цели.

5. Необходимо разработать методику определения влияния наличия габаритных огней на эффективность распознавания цели камерой.

Список источников

1. Андреев, И. В. Изменение общего количества выявленных нарушителей правил дорожного движения на территории Российской Федерации за 2018-2021 годы / И. В. Андреев, А. С. Германович // Прогрессивные научные исследования - основа современной инновационной системы: Сборник статей Международной научно-практической конференции, Пермь, 17 июня 2022 года. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "ОМЕГА САЙНС", 2022. – С. 219-221.
2. Шадрин, С. С. Аналитический обзор стандарта SAE J3016 "классификация, термины и определения систем автоматизированного управления движением АТС" с учётом последних изменений / С. С. Шадрин, А. А. Иванова // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2019. – № 3(21). – С. 10. – EDN QEZCCL.
3. К вопросу о влиянии загрязнения внешних световых приборов химическими противогололедными материалами на безопасность движения автотранспортных средств / В. О. Громалова, А. И. Федотов, В. Г. Зедгенизов, С. М. Гергенов // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2018. – Т. 15, № 1(59). – С. 55-60. – EDN YTMCLQ.
4. Громалова, В. О. О влиянии загрязнения внешних световых приборов химическими противогололедными материалами на безопасность движения автотранспортных средств / В. О. Громалова, А. И. Федотов // Мехатроника, автоматика и робототехника. – 2018. – № 2. – С. 61-65. – EDN YPXFCB.
5. Разработка компьютерных систем для поддержания оптимального состояния муниципальной автодорожной инфраструктуры / А. М. Бессарабов, А. Н. Глушко, Т. И. Степанова [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15. – № 10. – С. 293-299. – EDN OZHBMZ.
6. Троицкий, А. М. Системы мониторинга дорожного движения и помощи водителю. Радары диапазонов 24 ГГц и 77 ГГц / А. М. Троицкий // Перспективные разработки по приоритетным направлениям развития: сборник статей III Международного научно-исследовательского конкурса, Петрозаводск, 15 марта 2022 года. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская И.И.), 2022. – С. 78-87.
7. Новые методы испытаний систем автоматического экстренного торможения и опыт их применения / А. М. Иванов, С. Р. Кристальный, Н. В. Попов [и др.] // Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева. – 2018. – № 2(121). – С. 146-155. – DOI 10.46960/1816-210X_2018_2_146. – EDN XSELUT.
8. New testing methods of automatic emergency braking systems and the experience of their application / A. M. Ivanov, S. R. Kristalnyi, N. V. Popov [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Nizhni Novgorod, 18–19 апреля 2018 года. Vol.

386. – Nizhni Novgorod: Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 012019. – DOI 10.1088/1757-899X/386/1/012019. – EDN YBQCGT.

9. Андреев, А. Н. Оценка распознаваемости перспективной модели "пешеход" современным автомобильным радаром / А. Н. Андреев, М. А. Топорков // DSPA: Вопросы применения цифровой обработки сигналов. – 2021. – Т. 11, № 4. – С. 4-9. – EDN МААНХД.

10. Сидорова, П. А. Анализ новых типов испытаний САЭТ в рамках рейтинга Euro NCAP (2020 г.) / П. А. Сидорова, Н. В. Попов // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2020. – № 2(24). – С. 1. – EDN ХОННХІ.

11. Кристальный, С. Р. Выбор параметров испытаний и методов оценки эффективности действия САЭТ в соответствии с RUNCAP / С. Р. Кристальный, Н. В. Попов, А. К. Багров // Безопасность колёсных транспортных средств в условиях эксплуатации : материалы 106-й Международной научно-технической конференции, Иркутск, 23–26 апреля 2019 года. – Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2019. – С. 12-19. – EDN NNLEPU.

12. НЦБДД.МВД.РФ. Научный центр безопасности дорожного движения. Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации за 9 месяцев 2021 года и 6 месяцев 2022 года. – URL: <https://нцбдд.мвд.рф/>

References

1. Andreev I. V., Germanovich A. S. *Progressivnye nauchnye issledovaniya - osnova sovremennoj innovacionnoj sistemy*, Sbornik statei, Perm', Ufa: "OMEGA SAINS", 2022, pp. 219-221.

2. Shadrin S.S., Ivanova A.A. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*, 2019, no. 3(21), p.10.

3. Gromalova V. O., Fedotov A. I., Zedgenizov V. G., Gergenov S. M. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta*, 2018, vol. 15, no. 1(59), pp. 55–60.

4. Gromalova V. O., Fedotov A. I. *Mehatronika, avtomatika i robototekhnika*, 2018, no. 2, pp. 61–65.

5. Bessarabov A. M., Glushko A. N., Stepanova T. I., Iobanova A.V., Zaikov G.E., Stojanov O.V. *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta*, 2012, vol. 15, no. 10, pp. 293–299.

6. Troickij A. M. *Perspektivnye razrabotki po prioritetnym napravlenijam razvitiya*, Sbornik statei, Petrozavodsk, Mezhdunarodnyj centr nauchnogo partnerstva «Novaja Nauka», 2018, pp. 78–87.

7. Ivanov A.M., Kristal'nyj S.R., Popov N.V., Toporkov M.A., Isakova M.I. *Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva*, 2018, no. 2(121), pp. 146–155.

8. Ivanov A.M., Kristal'nyj S.R., Popov N.V., Toporkov M.A., Isakova M.I. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, vol. 386, issue 1, art. no. 012019.

9. Andreev A. N., Toporkov M. A. *DSPA: Voprosy primeneniya cifrovoj obrabotki signalov*, 2021, vol. 11, no. 4, pp. 4–9.
10. Sidorova P. A., Popov N. V. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*, 2020, no. 2(24), p. 1, <https://www.adi-madi.ru/madi/article/view/892>.
11. Kristal'nyj S. R., Popov N. V., Bagrov A. K. *Bezopasnost' koljosnyh transportnyh sredstv v uslovijah jekspluatacii*, materialy 106-j Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii, Irkutsk, ISTU, 2019, pp. 12–19.
12. URL: <https://ntsbdd.mvd.rf/>

Рецензент: В.В. Гаевский, д-р техн. наук, проф., МАДИ

Информация об авторах

Дьяков Филипп Кириллович, канд. техн. наук, доц., МАДИ.

Митрохина Мия Васильевна, студент, МАДИ.

Алексеев Максим Иванович, инженер, МАДИ.

Андреев Алексей Николаевич, ст. преподаватель, МАДИ.

Шипорин Илья Михайлович, преподаватель, университет «Синергия».

Information about the authors

Dyakov Philip K., Ph.D., associated professor, MADI.

Mitrokhina Mia V., student, MADI.

Alexeenkov Maksim I., engineer, MADI.

Andreev Alexey N., senior lecturer, MADI.

Shiporin Ilia M., lecturer, university «Synergy»

Статья поступила в редакцию 26.09.2023; одобрена после рецензирования 24.10.2023; принята к публикации 13.12.2023.

The article was submitted 26.09.2023; approved after reviewing 24.10.2023; accepted for publication 13.12.2023.