

УДК 629.3.018.7

EDN EYXFAX

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРЕХКОМПОНЕНТНОГО МЕТОДА ИСПЫТАНИЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОБЛЕМ БЛОКИРОВКИ РАДАР АДАС

Ф.К. Дьяков

ORCID: 0009-0003-3041-9363 e-mail: f.dyakov@madi.ru

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

Москва, Россия

Анализируется вопрос практического применения трехкомпонентного метода испытаний для исследований уникальных сценариев некорректной работы АДАС в Российской Федерации. Теоретические основы методологии были предложены неофициальной рабочей группой по методам валидации для автоматизированного вождения Всемирного форума для согласования правил в области транспортных средств (WP.29). Оценена сходимость результатов, полученных на основании трех видов экспериментов: имитационных исследований, испытаний на полигоне и испытаний на дорогах общего пользования. Для каждого из них была разработана общая методика проведения экспериментальных заездов, а также дополнения к ней, характерные только для определенного вида испытаний. Практически обоснована возможность использования трехкомпонентного метода для исследования сценариев некорректной работы системы АДАС; показан потенциал применения для исследований случаев некорректной работы АДАС, массово встречающихся на отечественных дорогах. Разработана глобальная методика дорожных испытаний, обоснована невозможность сокращения их объема. Разработана конструкция экранирующей решетки. Создан испытательный модуль в программной среде *Siemens Prescan*, позволяющий имитировать методику испытаний, используемую на дорогах общего пользования и полигоне.

Ключевые слова: АДАС; система адаптивного круиз-контроля (САКК); снежно-грязевые отложения; блокирование радара АДАС; экранирующая решетка; коэффициент атмосферного затухания; трехкомпонентный метод; уникальные сценарии; дороги общего пользования; экспериментальные заезды.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Дьяков, Ф.К. Использование трехкомпонентного метода испытаний для исследования проблем блокировки радара АДАС // Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева. 2026. № 3. С. 67-81. EDN EYXFAX

INVESTIGATION OF ADAS RADAR BLOCKING PROBLEM USING A THREE-COMPONENT TEST METHOD

Ph.K. Dyakov

ORCID: 0009-0003-3041-9363 e-mail: f.dyakov@madi.ru

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)

Moscow, Russia

Abstract. The article examines the practical application of a three-component test method for investigating Russian unique advance driver-assistance system (ADAS) malfunction scenarios. The theoretical foundations of the methodology were proposed by the informal working group on validation methods for automated driving of the world forum for harmonization of vehicle regulations (WP.29). The convergence of results obtained from three types of experiments – simulation studies, proving ground tests, and public road tests is evaluated. A common methodology for conducting test driving was developed for each type of experiments, along with additions to the methodology specific to a particular type of test. The feasibility of using the three-component method for studying ADAS malfunction scenarios was practically substantiated and the potential for investigating ADAS malfunction cases that occur frequently on Russian roads was demonstrated. A comprehensive road test methodology was developed. The impossibility of reducing the number of road tests was justified. The design of an aperture blockage grid was developed. A test module was created in the Siemens Prescan software, enabling simulation of the test methodology used on public roads and the proving ground.

Key words: advance driver-assistance system (ADAS); adaptive cruise control (ACC); snow and mud deposits; ADAS radar blocking; aperture blockage grid; atmospheric attenuation coefficient; three-component method; unique test cases; public roads; test driving.

FOR CITATION: Dyakov Ph.K. Investigation of adas radar blocking problem using a three-component test method. Transactions of NNSTU n.a. R.E. Alekseev. 2026. № 3. Pp. 67-81. EDN EYXFAX

Введение

В последнее время на дорогах многих стран, в том числе, России, массово эксплуатируются автомобили с электронными системами помощи водителю – *Advanced Driver Assistance Systems* (ADAS) второго уровня по классификации SAE 3016 [1]. Начинают появляться и транспортные средства (ТС) с системами ADAS третьего уровня. Актуален вопрос о соответствии работы подобных систем каким-либо обязательным требованиям. За рубежом ТС с системами ADAS, начиная с первого уровня, обязаны соответствовать требованиям обязательной государственной сертификации. В РФ в настоящее время ситуация иная: Требования Технического Регламента Таможенного Союза – ТР ТС 018/2011 [2] не требуют проведения сертификационных испытаний данных систем, следовательно, ТС может быть выпущено в обращение без их прохождения.

На сессии неформальной рабочей группы по методам валидации для автоматизированного вождения – *Validation Methods for Automated Driving* (VMAD) Всемирного форума для согласования правил в области транспортных средств (WP.29) Европейской экономической комиссии Организации Объединенных Наций (ЕЭК ООН) был одобрен новый метод оценки / испытаний (НМОИ) для автоматизированного вождения – NATM (new assessment / test method) [3]. Во введении к документу сказано, что данный метод относится к ТС, оборудованным автоматизированными системами вождения (ADS), т.е. системами ADAS третьего уровня и выше. Однако совершенно очевидно, что описанные виды испытаний и их взаимодействие может распространяться и на системы более низкого уровня. Целью данного документа является выработка четких рекомендаций по валидации безопасной работы ADS/ADAS таким образом, чтобы предлагаемые испытания были основаны на фактических реальных сценариях эксплуатации ТС. Они должны быть легко воспроизводимы как при имитационном моделировании, так и при полигонных испытаниях.

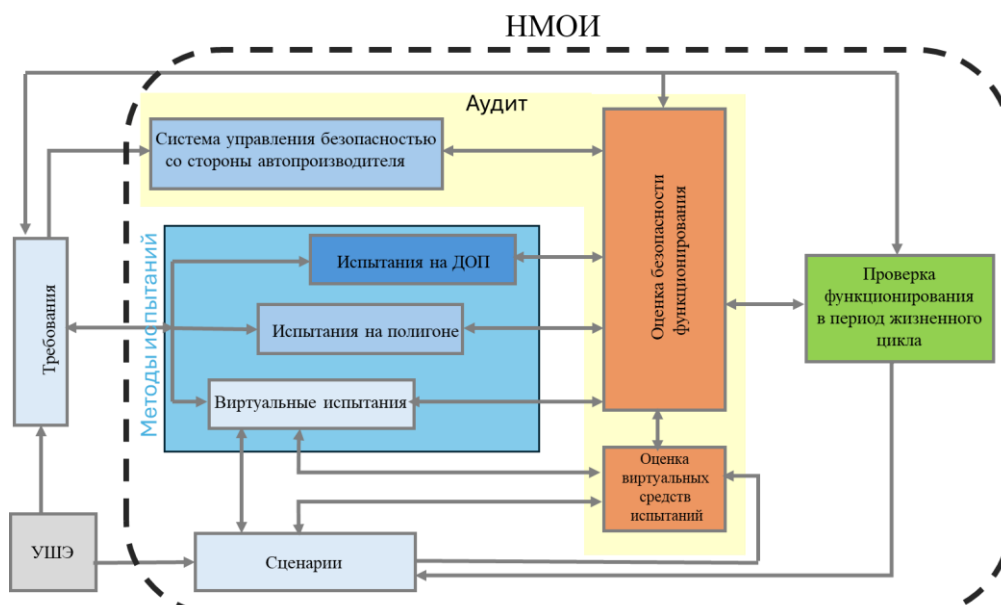


Рис. 1. Блок-схема Нового метода оценки / испытаний для автоматизированного вождения

Fig. 1. Block diagram of the new assessment / test method for automated driving

НМОИ состоит из шести элементов, тесно взаимосвязанных друг с другом (рис. 1). Половину из них составляют методы испытаний: имитационное моделирование, испытания на треке и испытания на дорогах общего пользования. В оставшиеся три элемента входят:

выработка сценариев тестирования, проверка внедрения производителем процессов, необходимых для достижения функциональной и эксплуатационной безопасности, а также мониторинг и передача данных на этапе эксплуатации.

Предметом исследования настоящей работы является блок «Методы испытаний». В него входят: виртуальные или имитационные испытания, проводимые на компьютере с использованием специального программного обеспечения; испытания на полигоне (треке), т.е. на закрытой безопасной территории и испытания на дорогах общего пользования (ДОП), т.е. в реальных условиях эксплуатации. Это и послужило основанием для названия нового метода испытаний – трехкомпонентный. Очевидно, что при многофакторности условий эксплуатации необходимо проводить большое количество испытаний в сжатые сроки. С учетом стремительного распространения и использования систем ADAS различных уровней, одного вида испытаний совершенно недостаточно для подтверждения гарантии безопасности автомобиля в различных вариантах условий эксплуатации. Использование каждого метода в отдельности не дает качественного результата при исследованиях некорректных случаев работы ADAS, следовательно, лишает разработчиков возможности своевременного внедрения действенных контрмер.

Рассмотрим возможность использования трехкомпонентного метода испытаний для исследования российских уникальных случаев некорректной работы ADAS, которые могут привести к возникновению ДТП. В качестве примера рассмотрим случай блокировки радара системы адаптивного круиз контроля (САКК) слоем снежно-грязевых отложений. Данная проблема в данный момент изучается отечественными учеными, в первую очередь, научными коллективами МАДИ и Иркутского Национального Исследовательского Технического Университета (ИрНИТУ) [5-7].

В РФ в зимний период на ДОП широко применяются химические противогололедные материалы (ХПГМ), которые, смешиваясь с выпавшим или идущим снегом, а также растапливая уже образовавшиеся отложения, образуют липкую вязкую смесь, которая загрязняет внешние световые приборы, остекление кабин, зеркала заднего вида и, самое важное в рамках данного исследования – радары системы ADAS. При движении в зимний период при включенной САКК толщина снежно-грязевого слоя увеличивается настолько, что блокирует работу радара: мощности принимаемого сигнала P_c становится недостаточно для преодоления дополнительных помех, и она становится меньше порогового значения $P_{c\ min}$, при котором радар способен распознавать цель. Радар «слепнет», при этом система САКК продолжает работать, пока водитель не получит предупреждение на щитке приборов о нефункционирующей системе. В реальности между этими двумя событиями, как правило, проходит достаточно долгое время, иногда нескольких минут, в течение которых может произойти ДТП. В это время система пытается самодиагностироваться, чтобы подтвердить внутреннюю неисправность. На различных автомобилях данные временные интервалы различны и зависят от множества как внутренних (свойство системы), так и внешних (условия эксплуатации) факторов. На рис. 2 приведены фотографии, сделанные во время испытаний и иллюстрирующие данную ситуацию. С данной проблемой специалисты кафедры Автомобиля МАДИ столкнулись в ходе проведения крупномасштабных испытаний на ДОП РФ.

Применим трехкомпонентный метод испытаний к исследованию данного опасного поведения ADAS и сравним полученные результаты.

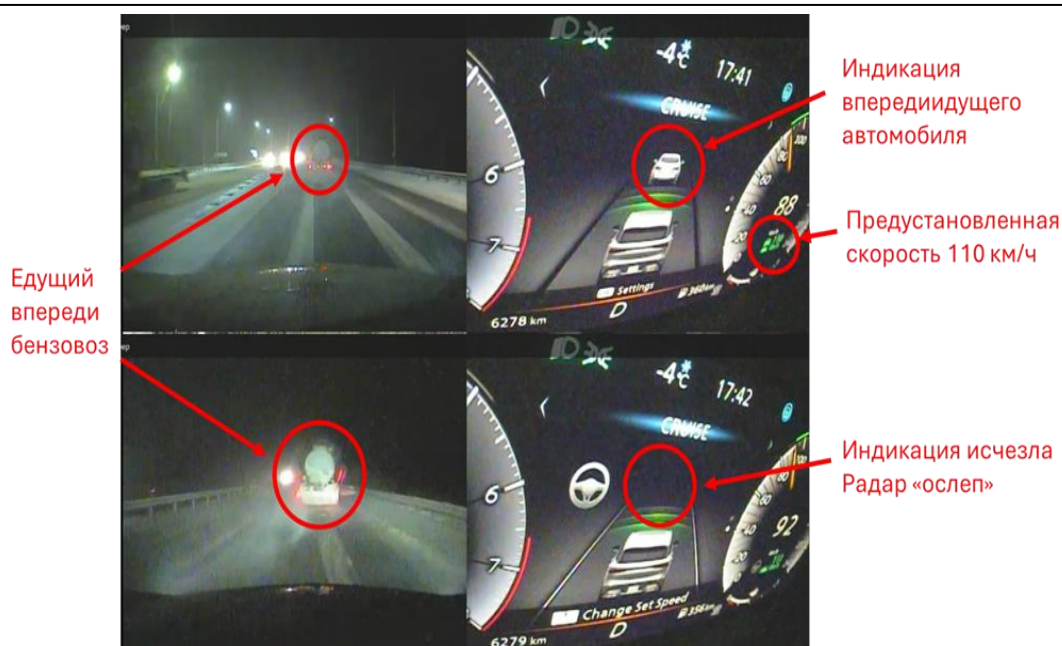


Рис. 2. Пример «ослепления» радара при проведении испытаний автомобиля Nissan Pathfinder на трассе М7 Москва – Нижний Новгород

Fig. 2. Example of radar «blinding» during testing of a Nissan Pathfinder on the M7 Moscow – Nizhny Novgorod highway

Во всех трех случаях испытаний применялась одна и та же методика, и принимало участие два автомобиля: 1 – объект испытаний (ОИ), 2 – ТС-лидер (ТСЛ). Автомобили располагаются друг за другом в одной полосе движения. Скорости во время проведения испытаний: ОИ – постоянная 80 км/ч, установленная САКК; ТСЛ – постоянная 60 км/ч. Схема расположения представлена на рис. 3. Перед началом движения дистанция между автомобилями должна быть больше радиуса действия радара дальнего диапазона ОИ: на практике 250–300 м. Автомобили начинают движение в одном направлении; ОИ начинает движение с некоторой задержкой относительно ТСЛ (примерно 8 сек).

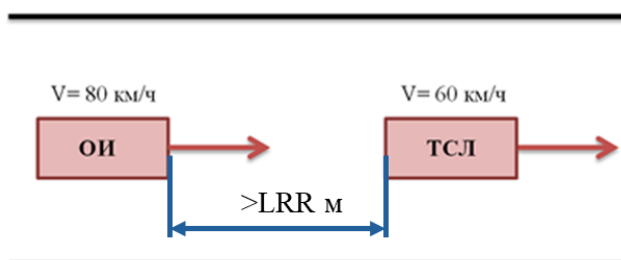


Рис. 3. Схема движения ОИ и ТСЛ

Fig. 3. Motion diagram of the ego vehicle and the leading vehicle

Данная методика предусматривает проведение измерений дистанции уверенного обнаружения («захвата») ТСЛ радаром ADAS, в зависимости от степени затухания электромагнитной волны. Степень затухания в каждом из методов испытаний моделируется по-разному.

Виртуальные испытания в программной среде *Simcenter Prescan*

В настоящее время большое количество научно-исследовательских центров и автопроизводителей для проведения виртуальных испытаний используют программную среду *Simcenter Prescan* [8]. Она является универсальным средством, поскольку базируется на широких возможностях MATLAB/Simulink [9, 10] и позволяет проводить широчайший спектр испытаний систем ADAS в различных виртуальных сценариях на различных виртуальных

автомобилях. Данное программное обеспечение (лицензия МАДИ № 925024) использовалось для исследования процесса влияния погодных факторов на степень загрязнения и работу радара ADAS. В *Prescan* степень затухания электромагнитного излучения радара задается варьированием коэффициента атмосферных затуханий. Данный коэффициент входит в формулу 1, на основании которой программа считает реальную дальность действия радара с учетом атмосферных затуханий:

$$D_{\text{макс п.}} = D_{\text{макс}} e^{-0,115\alpha_3 L} \quad (1)$$

где: $D_{\text{макс}}$ – максимальная дальность действия радара в свободном пространстве, м; $-0,115$ – постоянное числовое значение; α_3 – коэффициент атмосферного затухания, дБ/м; L – максимальная дальность действия радара по техническим характеристикам, м.

Значение самого коэффициента α_3 в программе можно задавать двумя способами. Во-первых, в *Prescan* предусмотрен стандартный набор графиков показывающих, как сильно влияет интенсивность дождя на затухание в зависимости от рабочей частоты радара (рис. 4). Во-вторых, коэффициент можно задать вручную.

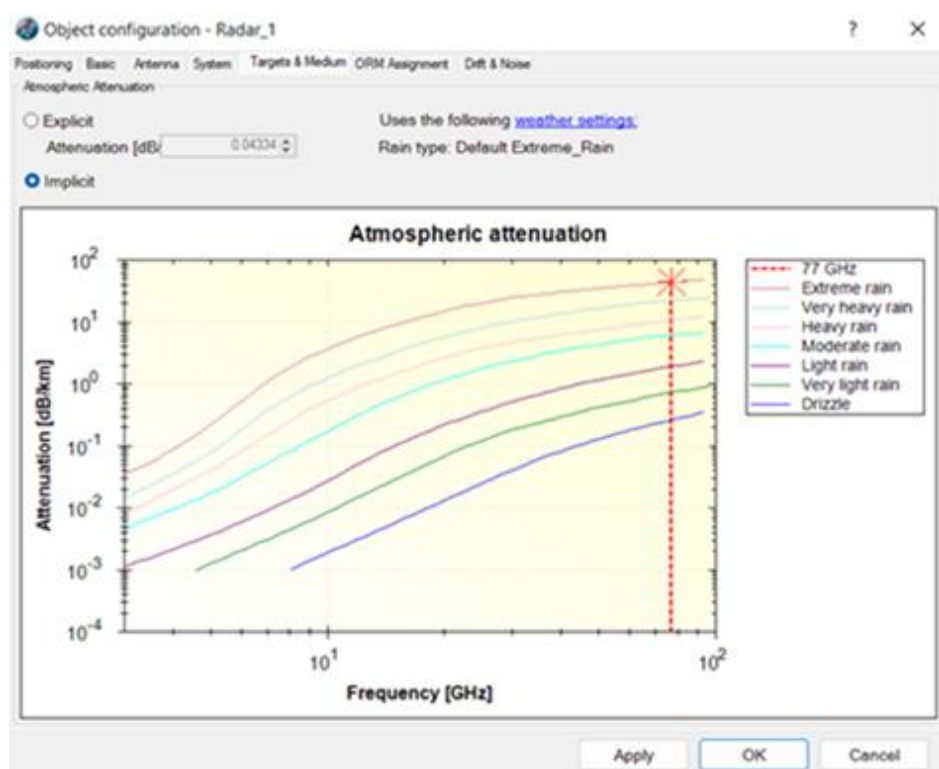


Рис. 4. Использование в *Prescan* опции «Атмосферное затухание» для настройки видимости объектов радаром во вкладке «Цели и средства» для радара дальнего действия (LRR)

Fig. 4. Using the «Atmospheric attenuation» option in PreScan to configure object visibility for the radar in the «Targets and medium» tab for the long range radar (LRR)

Отсутствие других видов осадков в стандартных настройках *Prescan* вполне объяснимо, так как только интенсивность дождя влияет на интенсивность затухания максимальным образом [11]. Другие факторы, увеличивающие степень затухания электромагнитного излучения, разработчики *Siemens* не учли, так как это нетипично для стран с нехолодным климатом. Соответственно, влияние снежно-грязевых отложений на работу радара также учтено не было, хотя последнее оказывает значительно более сильное влияние, чем даже самый интенсивный дождь. Это показывает общую проблему программ для моделирования режимов движения, разработанных в других странах. Ни одна из них полностью не учитывает особенности эксплуатации ТС в России. В связи с этим, при проведении виртуальных испытаний, применение коэффициентов атмосферного затухания было разделено на две группы. До уровня 0,04334 дБ/м, соответствующего определению «Extreme rain» (ливень), в программе

использовались предварительно заданные программой коэффициенты. Каждый из них соответствует определенной интенсивности дождя. Для всех коэффициентов определялась дистанция «захвата». Свыше уровня 0,04334 дБ/м коэффициенты подбирались эмпирическим путем по одинаковой дистанции уверенного определения цели при полигонных испытаниях и испытаниях на ДОП. Например коэффициент, равный 0,09668 дБ/м, соответствует минимальной дистанции «захвата». Дальнейшее повышение коэффициента приводит к тому, что радар становится «слепым» еще до начала заезда, «не видит» ТСЛ вообще, и эксперимент теряет смысл. В реальных условиях это эквивалентно полному покрытию радара металлической фольгой.

Использование предварительно заданных в программе коэффициентов затухания, при их значениях меньше 0,04334 дБ/м, объясняется необходимостью проверки точности соответствия искусственно созданных в программе климатических условий (коэффициентов) реальной ситуации (толщине слоя грязи) на дорогах. Сравнение показало хорошие результаты. Однако разработчикам программы необходимо расширить ряд изначально заданных коэффициентов свыше 0,04334 дБ/м, чтобы их полный диапазон полностью соответствовал полному диапазону толщин слоя грязи на радаре в реальной эксплуатации. В этом случае программа будет полностью моделировать российские условия эксплуатации.

Испытания на полигоне

С одной стороны, с помощью данного способа можно получать более достоверные, по сравнению с имитационными испытаниями, результаты в зависимости от различных реальных эксплуатационных факторов. С другой стороны, он позволяет проводить испытания в более безопасных условиях по сравнению с испытаниями на ДОП.

В контексте прикладной задачи настоящего исследования необходимость полигонных испытаний была обусловлена двумя основными целями:

- 1) поиск материалов или создание устройств, способных заменить естественные снежно-грязевые отложения и легко воспроизводимых в любое время года;
- 2) разработка на данной основе методики исследований, которую можно использовать на полигоне круглогодично и быть независимым от погодных факторов.

Необходимо искусственно создать экран, расположенный перед радаром, который ослабляет энергию электромагнитной волны, проходящей через него, как от излучателя (радар), так и отраженной от препятствия. Рассматривалось два варианта создания искусственного экрана: нанесение слоя гончарной глины на рабочую поверхность и создание специальных экранирующих решеток.

Первый вариант, несмотря на простоту использования и легкость применения, обладает рядом существенных недостатков. Главный из них – невозможность создания равномерного слоя одинаковой толщины на всей поверхности радара, делает его использование неприемлемым.

Второй вариант – создание набора специальных экранирующих решеток – позволяет пошагово увеличивать степень экранирования, а, следовательно, и коэффициент затухания электромагнитного излучения. Решетки изготавливались на базе ацетатной пленки толщиной 150 мкм, практически не экранирующей прохождение электромагнитных волн. На пленку с шагом $H = 10$ мм параллельно друг другу наклеивались полосы различной ширины, выполненные из алюминиевой клейкой ленты. Ширина алюминиевой полосы менялась от 0,4 мм до 10 мм с шагом 0,1 мм. В случае ширины 10 мм решетка превращается в алюминиевый лист и полностью блокирует радар. На рис. 5 представлена схема экранирующей решетки.

Шаг решетки p – это отношение ширины экранирующей полосы h_1 к сумме ширин, экранирующей и пропускающей полос, H .

$$p = \frac{h_1}{h_1 + h_2} = \frac{h_1}{H} \quad (2)$$

Например, в случае если $H = 10$ мм, а ширина алюминиевой полосы 6 мм, шаг решетки будет равен 0,6. Шаг можно также представлять как соотношение процентов. В описанном выше примере 60 % х 40 %, т.е. 60 % общей ширины H занимает экранирующая полоса и соответственно 40 % – пропускающая.

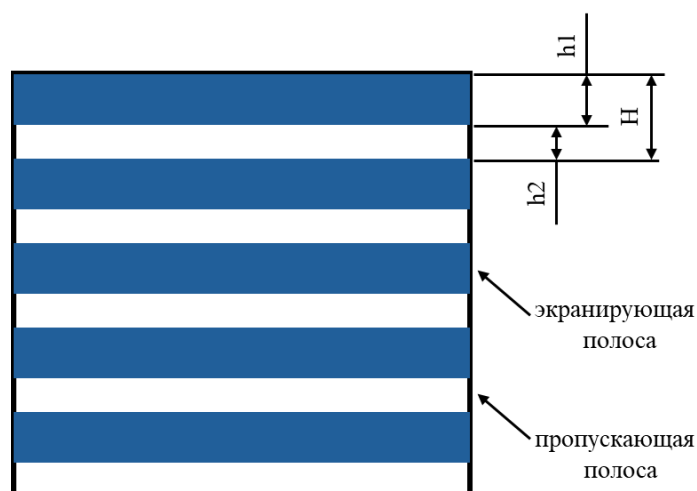


Рис. 5. Схема экранирующей решетки

Fig. 5. Scheme of the aperture blockage grid

Для проведения экспериментальных исследований был изготовлен набор решеток с шириной блокирующей полосы от 4 до 9 мм, с шагом 1 мм. В качестве объекта испытаний выбран автомобиль *Nissan X-Trail*. Основной причиной выбора данного ТС послужила возможность считывания и расшифровки CAN команд между радаром и блоком ADAS. Пример установки экранирующей решетки на ОИ приведен на рис. 6. Решетка устанавливалась таким образом, чтобы экранирующие полосы располагались горизонтально.



Рис. 6. Установка экранирующей решетки на Nissan X-Trail

Fig. 6. Installation of the aperture blockage grid on a Nissan X-Trail

Испытания проводились по представленной в данной работе методике на одном из участков комплекса специальных испытательных дорог Центра испытаний НАМИ в Дмитровском районе Московской области. ТСЛ двигалось с постоянной скоростью 60 км/ч. В системе САКК ОИ устанавливалась скорость 80 км/ч. Перед началом движения дистанция между автомобилями должна превышать радиус действия радара дальнего диапазона. ОИ начинал движение по той же полосе, что и ТСЛ с запаздыванием 8 сек. После «захвата» радаром объекта испытаний ТСЛ, ОИ, постепенно снижая скорость до 60 км/ч, приближался к ТСЛ до расстояния, предварительно заданного в начале эксперимента. Далее оба автомобиля

продолжали двигаться с одинаковой скоростью 60 км/ч и постоянной дистанцией между ними до окончания испытательного участка дороги. На объекте испытаний предусматливалась минимальная дистанция между автомобилями. Основная задача заключалась в определении дистанции уверенного «захвата» радаром объекта ОИ автомобиля, идущего впереди, и оценить, насколько экранирование радара уменьшает эту дистанцию. Запись параметров движения и работы ADAS ОИ осуществлялась специальным диагностическим прибором *Consult III*, использующим CAN-команды и переводящим их в реальные физические величины. Кроме того, для визуализации испытаний, использовался видеорегистратор с двумя камерами. Одна фиксировала обстановку перед ОИ, вторая – информацию на щитке приборов ОИ. Синхронизация видеоизображения и параметрической записи осуществлялась за счет моргания фарами дальнего света. Данный момент одновременно фиксировался и на видеорегистраторе, и в изменениях CAN команд.

При проведении полигонных и дорожных испытаний первоначально была определена дистанция обнаружения в случае абсолютно чистого радара, которая составила 102,2 м. Графики изменения дистанции между автомобилями, скорости ОИ и относительной скорости ОИ и ТСЛ представлены на рис. 7.



Рис. 7. Изменение дистанции между ОИ и ТСЛ, относительной скорости и скорости ОИ в случае чистого радара

Fig. 7 Change in the distance between the ego vehicle and the leading vehicle, relative speed, and ego vehicle speed for a clean radar

До момента уверенного захвата цели на 26-й секунде радар определял различные посторонние предметы, создавая так называемый шум. По достижении расстояния 102,2 м (начало горизонтального участка графика) произошел уверенный захват движущегося впереди ТСЛ. Далее, приблизительно в течение двух секунд, блок управления ADAS анализирует полученную информацию, сравнивает ее с информацией, полученной с видеокамеры, и после этого посылает управляющий сигнал в CAN на включение индикатора на щитке приборов и начало торможения объекта испытаний. К сожалению, по сигналам CAN невозможно определить момент подачи сигнала на включение индикатора. Поэтому данный момент определяется из покадрового просмотра видеозаписи, сделанной с камеры, установленной на щитке приборов; частота видеозаписи 30 кадров/сек. Водитель ОИ в момент появления индикатора

на щитке приборов моргает дальним светом фар, при этом на щитке загорается синий индикатор. Данный момент также фиксируется камерой. Зная момент зажигания фар из CAN, можно покaдрово отсчитать назад момент появления индикатора, подтверждающего «захват» ТСЛ. В случае, представленном на рисунке, данный интервал составил 0,5 с.

Далее в ходе полигонных испытаний ступенчато с шагом 1 мм увеличивалась ширина алюминиевой полосы решетки, т.е. ее экранирующая способность. После этого проводились аналогичные заезды. Как показал опыт, решетки с шагом 0,6 и ниже не вызывают сокращения дистанции «захвата» – 102,2 м. Решетки с шагом 10 мм (ширина алюминиевой полосы) полностью блокируют радар, делая изначально тестовый заезд бессмысленным. Графики, показывающие сокращение дистанции уверенного обнаружения в зависимости от увеличения экранирующей способности решетки, представлены на рис. 8.

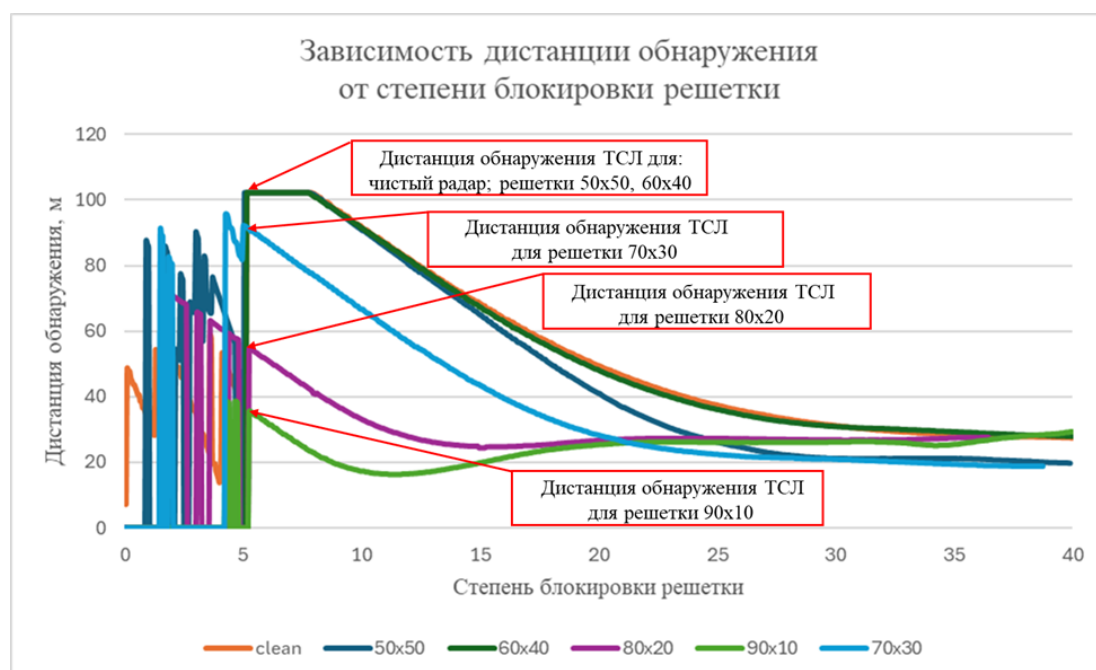


Рис. 8. Зависимость дистанции уверенного обнаружения ТСЛ от степени экранирования решетки

Fig. 8. Dependence of the reliable detection range of the leading vehicle on the degree of grid blockage

Графики, полученные для различных решеток, были наложены друг на друга. Момент уверенного «захвата» цели каждого из них приведен к одному моменту времени – 5 с от начала записи. Это позволяет наглядно сравнить, как менялась дистанция в зависимости от увеличения ширины алюминиевой полосы решетки. Данные левее отметки 5 с – различные шумы. При степени блокирования решетки до 60 % x 40 % дистанция обнаружения не меняется по сравнению с чистым радаром и составляет 102,2 м. Снижение дистанции начинает наблюдаться с решетки 70 % x 30 %. При использовании решеток со степенью 70 % x 30 % и выше после определения цели происходит ее потеря на незначительные промежутки времени. Вне зависимости от степени блокировки решетки, после выравнивания скоростей ОИ и ТСЛ до 60 км/ч автомобили продолжают следовать друг за другом на предустановленной дистанции – 25-27 м до окончания записи.

В ходе эксперимента все решетки устанавливались перед радаром как в горизонтальном положении экранирующих полос, так и в вертикальном; проводилось не менее пяти заездов для каждого положения решетки. Как показала практика, работа радара при горизонтальном положении полос является более стабильной, т.е. дистанция обнаружения изменяется меньше при вертикальном сдвиге решетки, чем при горизонтальном сдвиге решетки с вертикальными экранирующими полосами, при одной и той же степени экранирования. Кроме

того, при вертикальном расположении экранирующей полосы дистанции обнаружения практически в два раза меньше, чем при горизонтальном положении, что при больших толщинах делает проведение эксперимента небезопасным: примерно в половине заездов водитель вынужден применять экстренное торможение для предотвращения столкновения с ТСЛ. Разброс результатов измерений при вертикальном расположении в разы больше, чем при горизонтальном расположении и достигает неприемлемых значений даже при незначительных степенях экранирования. При одной и той же ширине экранирующей полосы при вертикальном ее расположении значительно больше радар значительно чаще теряет цель после ее обнаружения, чем при горизонтальном расположении (рис. 9). Это говорит о том, что результаты испытаний с решеткой при вертикальном расположении экранирующих полос крайне нестабильны и очень чувствительны к даже незначительному (на ширину экранирующей полосы) смещению решетки. Соответственно, создаются большие трудности с воспроизведением стабильных условий проведения эксперимента даже для одного автомобиля и данный вариант совершенно неприемлем для сравнительных испытаний. Следовательно, испытания работы радара следует проводить только при горизонтальном расположении экранирующих полос решетки.

Экспериментальные исследования при других вариантах ориентации экранирующих полос в рамках данной работы не проводились.

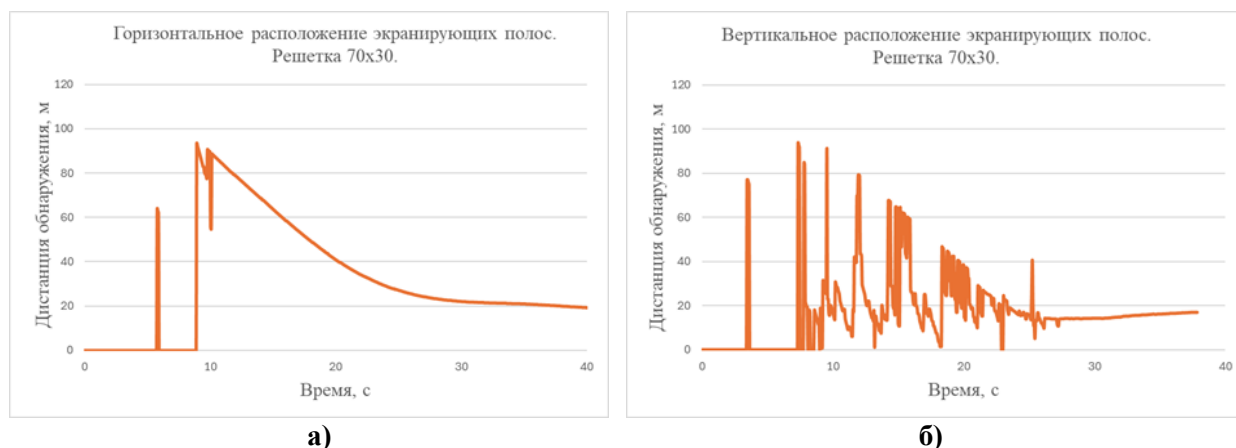


Рис. 9. Сигнал изменения расстояния между ТСЛ и ОИ, установленной решеткой 70x30 при:
 а) горизонтальном расположении экранирующих полос; б) вертикальном расположении

Fig. 9. Signal of the distance variation between the leading vehicle and the ego vehicle with the 70×30 grid installed:

а) horizontal arrangement of blocking strips; б) vertical arrangement

Различное влияние расположения решеток и их смещения на дистанцию обнаружения обусловлено геометрическим расположением передающих и принимающих антенн на антенной плате радара. Матрица антенн на радарах *Continental ARS 404-21 Entry* и *ARS 408-21 Premium Long Range Sensor 77GHz* [12] имеет большую высоту, чем ширину, поэтому перемещения горизонтальной решетки вверх-вниз не перекрывает всех приемных антенн, в то время как при смещении вертикальной решетки вправо-влево блокируется значительно большее количество приемных антенн.

Таким образом, на основании результатов полигонных испытаний доказано, что возможно круглогодичное использование экранирующих решеток для моделирования экранирующего эффекта, вызываемого реальным слоем снежно-грязевых отложений. С помощью данного метода возможно проводить не только испытания одного автомобиля, но и сравнительные испытания различных моделей ТС, оснащенных ADAS. В их ходе можно установить, насколько сильно степень блокировки решетки влияет на дистанцию «захвата» на разных моделях. Данные подобных испытаний можно использовать для сравнения характеристик разных моделей ТС-бенчмаркинга.

Испытания на дорогах общего пользования

Данный вид испытаний является основным в трехкомпонентном подходе к испытаниям. Именно он позволяет выявить реальные сценарии некорректной работы системы ADAS. Кроме того, испытания проводятся в тех же условиях, в которых владельцы автомобилей с ADAS эксплуатируют ТС. Этот вид испытаний позволяет реально оценить границу условий штатной эксплуатации (УШЭ) ADAS и работу системы внутри ее и за ее пределами. Присутствуют и недостатки у данного вида испытаний, к которым можно отнести: трудность воспроизведения одних и тех же условий эксплуатации при оценке работы системы ADAS на проектируемом автомобиле и автомобилях-аналогах; повышенная опасность проведения, связанная с присутствием других участников движения на ДОП в момент проведения эксперимента; высокие материальные, человеческие и временные затраты.

При исследовании сценария блокировки радара слоем снежно-грязевых отложений использовалась та же методика, что и при двух других видах испытаний. Отличием является то, что при этом виде испытаний эффект затухания электромагнитного излучения достигается в основном за счет увеличения толщины слоя снежно-грязевых отложений: чем толще слой, тем сильнее затухание. Как и в случае полигонных испытаний в ходе испытаний на ДОП с помощью регистрирующего оборудования были получены графики, отражающие уменьшение дистанции уверенного обнаружения ТСЛ в зависимости от толщины снежно-грязевых отложений (рис. 10).

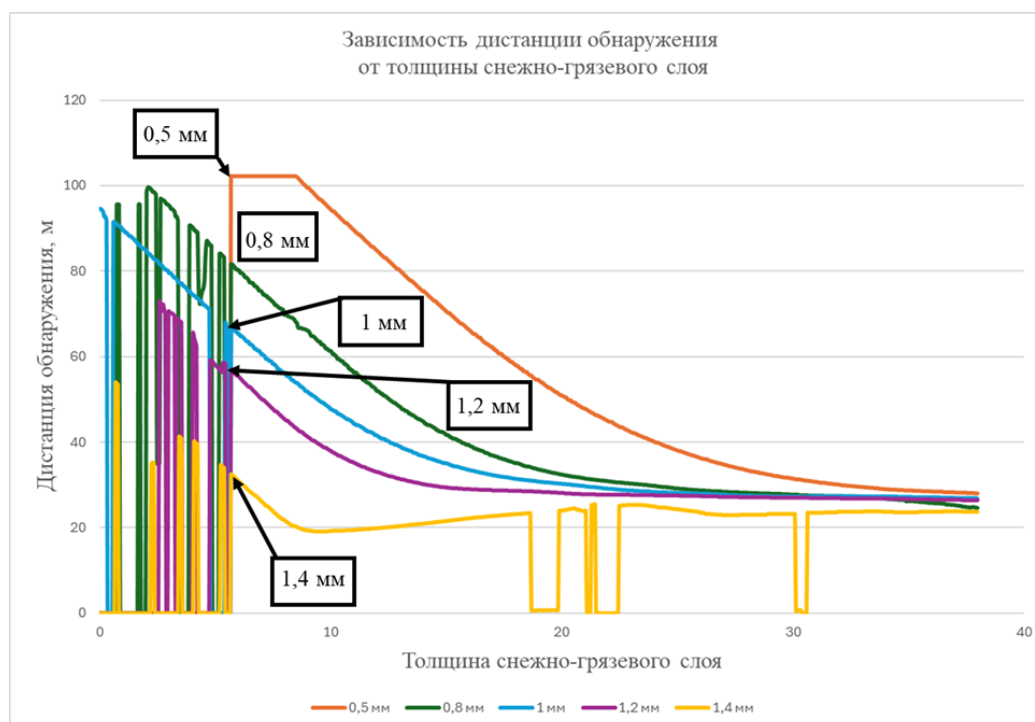


Рис. 10. Зависимость дистанции уверенного обнаружения ТСЛ от толщины снежно-грязевого слоя, покрывающего рабочую поверхность радара

Fig. 10. Dependence of the reliable detection range of the leading vehicle on the thickness of the snow and mud layer covering the radar working surface

Графики качественно носят тот же характер, что и полученные при использовании блокирующей решетки. При толщине слоя меньше 0,5 мм дистанция обнаружения не изменяется по сравнению с чистым радаром и составляет 102,2 м. Снижение дистанции начинает наблюдаться при превышении толщины снежно-грязевого слоя 0,5 мм. При достижении толщины слоя 1,5 мм радар полностью «слепнет» и ОИ перестает определять транспортное средство лидер. При приближении толщин к 1,5 мм очень часто происходит потеря и после-

дующее повторное определение ТСЛ после первоначального «захвата», что говорит о нестабильной работе системы СААК.

Кроме того, в ходе испытаний на дорогах общего пользования проводились большие работы по изучению скорости загрязнения радара в зависимости от различных эксплуатационных факторов и конструктивных особенностей автомобиля. Данные исследования проводились согласно базовой методике, подробно описанной в [4].

Сравнение результатов виртуальных, полигонных испытаний и испытаний на ДОП

В табл. 1 приведены сравнения дистанций «захвата» ТСЛ при имитационных, полигонных испытаниях и испытаниях на дорогах общего пользования.

Таблица 1.

Сравнение дистанций уверенного обнаружения ТСЛ при имитационных, полигонных испытаниях и испытаниях на дорогах общего пользования

Table 1.

Comparison of reliable detection ranges of the leading vehicle in simulation, proving ground, and public road tests

Дороги общего пользования		Полигон. Экранирующая решетка		Моделирование в <i>Prescan</i>	
Толщина загрязняющего слоя, мм	Дистанция обнаружения, м	Степень блокировки решетки, %	Дистанция обнаружения, м	Коэффициент атмосферного затухания, дБ/м	Дистанция обнаружения, м
0,5	102,2	60/40	100,9	0,02195	102,6
0,8	81,6	70/30	87	0,03265	85,3
1	66,5	-	-	0,04334	70,94
1,2	57	80/20	60,9	0,05334	59,7
1,4	32,5	90/10	23,2	0,09668	28,3
1,5	0	100/0	0	0,15234	0

Для измерений в диапазоне, штатно заданных в *Prescan* коэффициентах затухания, разница между значениями, полученными различными способами, составляет в среднем 6,3 %. В случае степени блокировки 80/20 или толщине отложений 1,2 мм – 6,5 %. В случае снежно-грязевого слоя 1,4 мм или решетки 90x10 резко падает стабильность результатов, так как радар почти «слепой» и часто повторно теряет и обнаруживает цель, что вызывает значительный (до 29 %) разброс результатов. Если же оценивать расхождение результатов в целом, то разница не превышает 12 %. Необходимо дополнительно отметить, что при использовании штатно заданных коэффициентов в программе *Prescan* разница между значениями всех трех видов испытаний не превысила 6,5 %.

Более наглядно результаты экспериментальных исследований показаны на графике на рис. 11, где изображены кривые, описывающие уменьшение дистанции «захвата» в зависимости от толщины слоя снежно-грязевых отложений; степени блокировки экранирующей решетки и коэффициента атмосферных затуханий. Все кривые расположены очень близко друг к другу. Для полигонных испытаний отсутствует результат между решетками со степенью блокировки от 70x30 до 80x20, так как в этом диапазоне технически невозможно изготовить решетку с шириной экранирующей полосы от 7 до 8 мм. На представленном графике данный участок обозначен прерывистой линией.

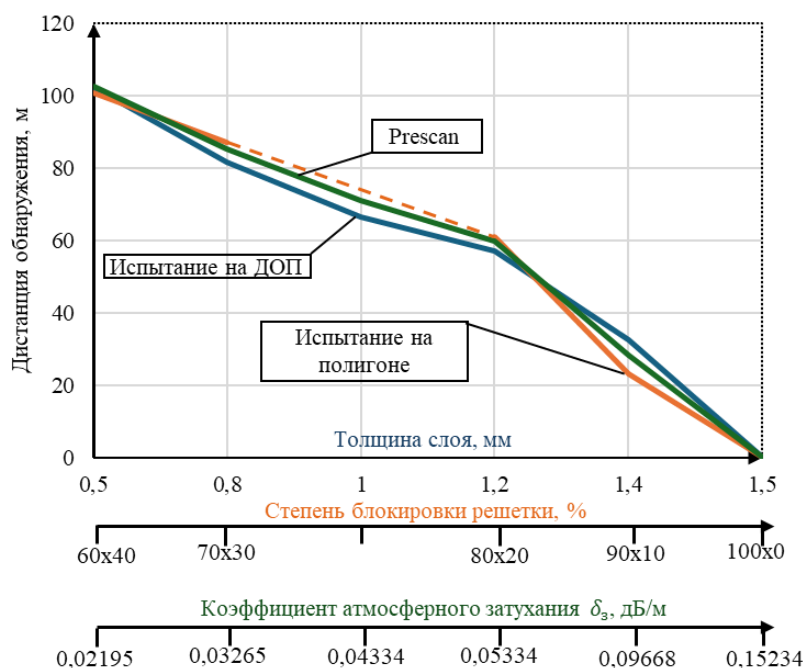


Рис. 11. Уменьшение дистанции уверенного обнаружения ТСЛ в зависимости от толщины слоя снежно-грязевых отложений, степени блокировки решетки и коэффициента атмосферных затуханий

Fig. 11. Decrease in the reliable detection range of the leading vehicle as a function of snow and mud deposit thickness, degree of grid blockage, and atmospheric attenuation coefficient

Выводы

1. Доказана возможность использования трехкомпонентного подхода к проведению испытаний систем ADAS второго уровня.
2. Доказана возможность использования трехкомпонентного метода испытания для исследования уникальных сценариев некорректной работы системы ADAS в РФ.
3. Исключение одного какого-либо вида испытаний из комплексного метода снижает качество проведения испытаний. Кроме того, исключение какого-либо вида испытаний может привести к увеличению материальных и временных затрат на проведение оставшихся и, как следствие, на испытания в целом.
4. Показана хорошая сходимость результатов имитационных, полигонных испытаний и испытаний на дорогах общего пользования.
5. Практически доказана возможность получения эмпирических коэффициентов затухания для применения имитационных испытаний.
6. Необходимо дорабатывать исследовательское программное обеспечение с целью улучшения отображения в нем реальных российских условий эксплуатации. Как альтернатива может быть рассмотрена разработка своих исследовательских программ, ориентированных на локальные условия эксплуатации.
7. Недопустимо сокращение объема испытаний на дорогах общего пользования, как единственного достоверного источника информации о реальных сценариях некорректной работы ADAS в РФ.

Библиографический список

1. **SAE J3016.** Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems. – U.S.A.: SAE, 2021. – 41 p.

2. **Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 018/2011.** О безопасности колесных транспортных средств (с изменениями на 16 февраля 2011 года). – [Б. м.: б. и., 2011].
3. **ECE/TRANS/WP.29/2021/61.** Организация Объединенных Наций. Всемирный форум для согласования правил в области транспортных средств. Новый метод оценки/испытаний для автоматизированного вождения (НМОИ) – Основной документ. – [Б. м.]: ООН, 2021.
4. **Дьяков, Ф.К.** Проблема блокировки радар системы ADAS в реальных зимних условиях эксплуатации на дорогах России. Методика проведения дорожных испытаний / Ф.К. Дьяков, А.Н. Андреев, М.И. Исакова, А.И. Калинин // Вестник Московского Автомобильно-Дорожного Государственного Технического университета (МАДИ). – 2022. – № 4 (71). – С. 18-27.
5. **Dyakov, P.K.** Practical Aspects of Electrical Vehicle Usage on Current Condition / P.K. Dyakov, A.N. Andreev, M.A. Toporkov, M.I. Alexeenkov, E.P. Dyakov // 2024 Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex (TIRVED). – Moscow, 2024. – P. 1-4. – DOI: 10.1109/TIRVED63561.2024.10769919.
6. **Ivanov, A.M.** Pollution Practical Research of Adaption Cruise Control System Radar During Winter Usage Condition / A.M. Ivanov, A.N. Andreev, P.K. Dyakov, N.V. Popov, A.I. Kalinin // 2022 Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex (TIRVED). – Moscow, 2022. – P. 1-5. – DOI: 10.1109/TIRVED56496.2022.9965517.
7. **Громова, В.О.** К вопросу о влиянии загрязнения внешних световых приборов химическими противогололедными материалами на безопасность движения автотранспортных средств / В.О. Громова, А.И. Федотов, В.Г. Зедгенизов, С.М. Гергенов // Вестник СибАДИ. – 2018. – Т. 15, № 1 (59). – С. 55-60.
8. **Simcenter Prescan.** User manual. Version 2019.2.0 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.caxsoft.net/ltxy/CFD/Siemens.Simcenter.PreSCAN.2019.2.0.d.html> (дата обращения: 25.11.2025).
9. **Дьяконов, В.П.** MATLAB 6.5 SP1/7/7 SP1/7 SP2+Simulink 5/6. Инструменты искусственного интеллекта и биоинформатики / В.П. Дьяконов, В.В. Круглов. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2006. – 456 с.
10. **Леоненков, А.В.** Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH / А.В. Леоненков. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
11. **Канцельсон, В.З.** Основы радиолокации и импульсной техники / В.З. Канцельсон, Н.И. Тимченко, В.В. Волков. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1985. – 334 с.
12. **Liebske, R.** Short Description ARS 404-21 Entry + ARS 408-21 Premium 21 Long Range Radar Sensor 77 GHz Technical Data Version 1.03 en [Электронный ресурс] / R. Liebske. – URL: https://github.com/lf2653/myrepository/blob/master/documentation/Short-Description_2017_07_09-06_ARS404-21%2BARS408-21_en_V1.06.pdf (дата обращения: 25.11.2025).

References

1. SAE J3016. Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems. U.S.A.: SAE; 2021. 41 p.
2. Tekhnicheskij reglament Tamozhennogo soyuza TR TS 018/2011. O bezopasnosti kolesnykh transportnykh sredstv (s izmeneniyami na 16 fevralya 2011 goda) [Technical Regulation of the Customs Union TR CU 018/2011. On safety of wheeled vehicles (as amended on February 16, 2011)]. [place unknown]; 2011. (in Russian).
3. ECE/TRANS/WP.29/2021/61. Organizatsiya Ob"edinennykh Natsiy. Vsemirnyy forum dlya soglasovaniya pravil v oblasti transportnykh sredstv. Novyy metod otsenki/isyptaniy dlya avtomatizirovannogo vozhdeniya (NMOI) – Osnovnoy dokument [United Nations. World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations. New Method of Assessment/Testing for Automated Driving (NMOI) – Framework Document]. [place unknown]: UN; 2021. (in Russian).
4. Dyakov F.K., Andreev A.N., Isakova M.I., Kalinin A.I. Problema blokirovki radara sistemy ADAS v real'nykh zimnikh usloviyakh ekspluatatsii na dorogakh Rossii. Metodika provedeniya dorozhnykh ispytaniy [The problem of ADAS system radar blocking in real winter operating conditions on Russian roads. Methodology of road tests]. Vestnik Moskovskogo Avtomobil'no-Dorozhnogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo universiteta (MADI) [Bulletin of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)]. 2022;(4):18-27. (in Russian).
5. Dyakov P.K., Andreev A.N., Toporkov M.A., Alexeenkov M.I., Dyakov E.P. Practical Aspects of Electrical Vehicle Usage on Current Condition. In: 2024 Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex (TIRVED). Moscow; 2024. p. 1-4. doi: 10.1109/TIRVED63561.2024.10769919.

6. Ivanov A.M., Andreev A.N., Dyakov P.K., Popov N.V., Kalinin A.I. Pollution Practical Research of Adaption Cruise Control System Radar During Winter Usage Condition. In: 2022 Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex (TIRVED). Moscow; 2022. p. 1-5. doi: 10.1109/TIRVED56496.2022.9965517.
7. Gromolova V.O., Fedotov A.I., Zedgenizov V.G., Gergenov S.M. K voprosu o vliyaniy zagryazneniya vneshnikh svetovykh priborov khimicheskimi protivogolodnymi materialami na bezopasnost' dvizheniya avtotransportnykh sredstv [On the issue of the influence of contamination of external lighting devices with chemical anti-icing materials on the traffic safety of motor vehicles]. *Vestnik SibADI* [Bulletin of SibADI]. 2018;15(1):55-60. (in Russian).
8. Simcenter Prescan. User manual. Version 2019.2.0. Available from: <https://www.caxsoft.net/ityxy/CFD/Siemens.Simcenter.PreSCAN.2019.2.0.d.html> [cited 2025 Nov 25].
9. D'yakonov V.P., Kruglov V.V. MATLAB 6.5 SP1/7/7 SP1/7 SP2 + Simulink 5/6. Instrumenty iskusstvennogo intellekta i bioinformatiki [MATLAB 6.5 SP1/7/7 SP1/7 SP2 + Simulink 5/6. Tools of artificial intelligence and bioinformatics]. Moscow: SOLON-PRESS; 2006. 456 p. (in Russian).
10. Leonenkov A.V. Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzy TECH [Fuzzy modeling in MATLAB and fuzzy TECH environment]. Saint Petersburg: BKhV-Peterburg; 2005. 736 p. (in Russian).
11. Kantsel'son V.Z., Timchenko N.I., Volkov V.V. Osnovy radiolokatsii i impul'snoy tekhniki [Fundamentals of radar and pulse technology]. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1985. 334 p. (in Russian).
12. Liebske R. Short Description ARS 404-21 Entry + ARS 408-21 Premium 21 Long Range Radar Sensor 77 GHz Technical Data Version 1.03 en. Available from: https://github.com/lf2653/myrepository/blob/master/documentation/Short-Description_2017_07_09-06_ARS404-21%2BARs408-21_en_V1.06.pdf [accessed 2025 Nov 25].

**Дата поступления
в редакцию: 03.02.2026**

**Дата принятия
к публикации: 18.07.2026**