

## О СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМАХ ПОМОЩИ ВОДИТЕЛЮ

Н.И. Аристова, В.М. Чадеев, И.В. Никулина (ИПУ РАН)

*Современные транспортные средства оснащаются системами помощи водителю (Advanced Driver Assistance Systems - ADAS) разного уровня автоматизации от формата пассивного советчика до возможности автономного управления (на стадии тестирования). Рассмотрены основные направления исследований отечественных ученых в области развития и совершенствования ADAS транспортных средств, включая предотвращение столкновений, стабилизацию движения автомобиля на заданной траектории, помощь водителю в сложных погодных условиях, диагностики состояния различных подсистем автомобиля, а также оценку состояния водителя и возможность управления транспортным средством.*

*Ключевые слова: система помощи водителю, транспортное средство, предотвращение столкновений, стабилизация движения автомобиля, заданная траектория движения, сложные погодные условия, оценка состояния водителя, диагностика.*

На современном уровне развития автомобилестроения на первый план выходят функции безопасности, облегчающие задачу человека, осуществляющего пилотирование транспортного средства. За безопасность в современном автомобиле отвечают системы помощи водителю (Advanced Driver Assistance Systems — ADAS), реализующие самые разные функции от активной системы торможения, до адаптивного управления светом автомобиля. ADAS представляет собой аппаратно-программный комплекс, требующий настройки и калибровки, а также систематического обслуживания.

В соответствии со стандартом SAE J3016 выделяют шесть уровней автоматизации автомобилей от 0-го, где автоматизация полностью отсутствует, до 5-го уровня, характеризующегося полной автоматизацией (беспилотный автомобиль). Промежуточные уровни 1...4 имеют на борту системы помощи водителя, которые от уровня к уровню приобретают все большие функциональные возможности от формата пассивного советчика до возможности в отдельных случаях полностью принимать на себя управление транспортным средством на некоторых типах дорог (например автобаны).

В связи с интенсивным развитием работ по созданию высокоавтоматизированных транспортных средств, проводимых в последние годы в мировой автомобильной промышленности, представляет интерес опыт Европейского союза (ЕС), где ведется разработка дорожной карты по развитию данного направления [1].

Важным этапом дорожной карты являются широко-масштабные испытания на дорогах ЕС с целью получения опыта в реальных условиях дорожного движения. В связи с этим было реализовано несколько проектов для исследования потенциала автоматизированных транспортных средств при движении в колонне, управлении связанными транспортными средствами, при движении в городской среде. Также проводилась оценка эффективности современных ADAS и их человеко-машинного интерфейса. Перечислим некоторые из этих проектов [1].

1) EuroFOT (период проведения 2008–2012 гг.) — проект включал более тысячи легковых и грузовых автомобилей, оборудованных существующими передовыми ADAS. Они эксплуатировались на дорогах Европы в течение одного года. В ходе испытаний оценивался потенциал повышения безопасности и снижения воздействия на окружающую среду. При этом была выявлена связь между действием этих систем и улучшением поведения водителей за рулем, эффективностью использования топлива и обеспечением

безопасности дорожного движения, а также общая экономия эксплуатационных затрат.

2) AdaptIVe (2014–2017 гг.) — проект, осуществляемый консорциумом во главе с Volkswagen, развивает различные функции автоматизированного управления для повседневного применения при динамической адаптации уровня автоматизации в зависимости от дорожной ситуации и состояния водителя.

2) HAVE-it (2008–2011 гг.) — проект осуществлялся при участии Continental, Haldex, Volkswagen и Volvo и был направлен на реализацию высокой степени автоматизации управления транспортными средствами. Исследовались осведомленность водителя, перераспределение функций между водителем и системой автоматического управления и неправильная эксплуатация системы. В рамках проекта особое внимание уделялось качеству человеко-машинного интерфейса анализируемых ADAS.

3) CityMobil (2011–2016 гг.) — проект, в рамках которого рассматривалась интеграция автоматизированных транспортных систем в городскую среду. Проект направлен на реализацию реальных автоматизированных транспортных систем в трех локациях: система персонального быстрого транзита в терминале № 5 аэропорта Хитроу в Великобритании; гибридные автобусы и трамваи в Кастельоне в Испании; система кибернетического транспорта в Риме. Самым важным препятствием на пути реализации оказался вопрос безопасности, также была выявлена необходимость разработать общепринятое руководство по сертификации. Сделан вывод о том, что решение по автоматизированному транспорту должно быть адаптировано к типу города [1].

По мнению отечественных специалистов, беспилотные автомобили в ближайшее время будут эксплуатироваться только на закрытых или полужакрытых дорогах. На дорогах общего пользования искусственный интеллект не скоро заменит человека-водителя, однако ADAS будут крайне востребованными и позволят существенным образом повысить безопасность автомобилей [2].

Рассмотрим далее основные направления исследований отечественных ученых в области развития и совершенствования ADAS транспортных средств.

### Предотвращение столкновений

Одним из перспективных направлений решения проблемы безопасности движения автотранспорта, успешно развиваемым ведущими зарубежными фирмами, является

создание ADAS, отвечающих за предотвращение различных столкновений. Специалисты ФГУП «НАМИ» изучили современные и перспективные зарубежные системы активной безопасности, предназначенные для предотвращения определенных типовых столкновений на базе структурированного множества. Анализ показал, что современные зарубежные ADAS потенциально позволяют предотвратить до 57% типовых столкновений. Этого явно недостаточно, чтобы считать проблему решенной [4]. В связи с этим продолжение исследований в этой области является актуальной задачей, которой уделяется значимое внимание учеными ФГУП «НАМИ».

Для решения задачи предотвращения типовых столкновений в [4] вводится структурированное множество столкновений, генерация элементов которого также выполняется с использованием метода «морфологического ящика» Цвикки. В качестве структурных переменных, характеризующих условия столкновений, рассматриваются скорость движения препятствия, продольное ускорение управляемого объекта и непрогнозируемые изменения направления его движения, возникающие вследствие определенных неисправностей, состояния дорожного покрытия и ошибок управления. Условия предотвращения типовых столкновений формулируются в виде неравенств для физических переменных, определяющих вектор состояния объекта и его динамических границ. Объединение компонентов вектора состояния и их границ для условий предотвращения различных типовых столкновений позволяет получить результирующую систему неравенств, записанную в терминах задачи динамической стабилизации состояния объекта.

Поиск технических решений в области совершенствования систем помощи водителю, как правило, основан на эвристических методах и далеко не всегда приводит к удовлетворительным результатам. Целью научного исследования [5] является формализация задачи предотвращения столкновений в терминах современной теории управления, построение адекватной математической модели для ее решения, включая выбор программно-аппаратной среды. Анализ условий столкновения позволяет построить структурированное множество типовых столкновений, позволяющее выполнить декомпозицию общей задачи на множество частных. Для определенных групп типовых столкновений могут быть записаны достаточные условия их предотвращения в форме неравенств для определения физических переменных. Для автоматического управления объектом необходимо решение задачи динамической стабилизации в наиболее полной постановке. С позиции современной теории управления качество решения задачи динамической стабилизации на конечном временном интервале оценивается по величине квадратичного функционала с учетом функциональных ограничений на технико-экономические показатели системы, реализующей управление. Косвенные измерения продольной скорости центра масс, угла поворота управляемых колес, дополнительной составляющей угловой частоты вращения центра масс при сносе или заносе колес выполняются программно с помощью оригинальных виртуальных датчиков информации. Определение граничных скоростей сноса, заноса и опрокидывания выполняется программно с учетом

идентифицируемого в движении максимального значения коэффициента трения скольжения.

По мнению специалистов НАМИ, необходимо дальнейшее наращивание функций перспективных ADAS за счет решения задач предотвращения разрушения шин, подвески и рулевого управления, отсоединения колес от ступиц наряду с совершенствованием решения других задач и учетом дорожно-климатических условий РФ. Для достижения заметного снижения уровня аварийности подобными системами должны оснащаться все автомобили, находящиеся в эксплуатации, включая автомобили низших ценовых категорий. Придание статуса высшего уровня конкурентоспособности таким системам возможно в минимальной конфигурации технических средств за счет использования более совершенных математических моделей и алгоритмов обработки информации [4].

### Стабилизация на заданной траектории

Среди множества практических задач, возникающих при решении проблемы создания современных ADAS, а в последствии и беспилотных транспортных средств, центральное место занимает задача стабилизации на заданной траектории. Целью научной работы сотрудников НАМИ [6] является формализация рассматриваемой задачи в терминах квадратичного функционала качества управления, сравнительный анализ возможных решений и обоснование выбора оптимального технического решения. В качестве квадратичного функционала качества управления для конечного временного интервала предлагается использовать интеграл квадрата отклонения от заданной траектории. Наилучшим решением задачи в предложенной постановке является алгоритм регулятора курса, обеспечивающий близкое к нулю отклонение, реализованный в программно-аппаратной среде, удовлетворяющей системе ограничений на технико-экономические показатели. Для генерации множества вариантов программно-аппаратных решений используется метод «морфологического ящика» Цвикки в пространствах аппаратных и программных средств. Алгоритм управления курсом использует данные об угле поворота управляемых колес и величине отклонения от центра полосы (заданной траектории), вычисляемой по данным решения навигационной задачи и данным видеосистемы. Если видеосистема не обнаруживает разметку, управление осуществляется по данным колесной навигационной системы, а в случае распознаваемой разметки — по данным видеосистемы. Исследовательские испытания системы стабилизации на заданной траектории проводились на территории ФГУП «НАМИ», включая Дмитровский автополигон. Тестовые заезды производились на автомобиле Лада Калина с электротягой. В составе системы управления использовались: штатные датчики частот вращения колес системы АБС; штатный электроусилитель рулевого управления; видеочасть, установленная в салоне на лобовом стекле; микрокомпьютер; блок обработки первичной информации и управления; планшетный компьютер, реализующий функции пульта управления; автономный источник питания системы управления. Анализ результатов испытательных тестов позволил сделать вывод об эффективности применения комплексиро-

ванной навигационной системы, обеспечивающей квазиоптимальное решение поставленной задачи при соблюдении жестких функциональных ограничений на технико-экономические показатели разрабатываемой системы управления беспилотного транспортного средства [2].

Исследователи из компании Basetrack Tech. Ltd. в [6] предложили для решения задачи стабилизации движения на заданной траектории ввести понятие «эталонного трека». Это высокоточный пространственный маршрут движения, содержащий дополнительные блоки, обеспечивающие оптимальное управление транспортным средством исходя из поставленной транспортной задачи и условий движения. Разработанный «эталонный трек» можно сравнить с виртуальным пространственным рельсом, по которому производится движение автомобиля так же, как и поезда по железной дороге. При возникновении препятствий или рисков схождения с трека в самом простом случае должна производиться остановка автомобиля, в более совершенном варианте — запускаться система принятия решения для переключения на другой трек или на другой фрагмент сегментированного трека объезда. Для реализации предложенного метода необходимо создать цифровую модель местности (ЦММ), на которую далее осуществляется добавление «информационных слоев» с соответствующими объектами (дорожная разметка, элементы инфраструктуры и пр.). В свою очередь, геопропространственные данные для ЦММ могут быть получены космической съемкой, лазерным сканированием (наземным и воздушным), радиолокационным зондированием и другими способами. «Эталонные треки» являются программным продуктом, получаемым на основе ЦММ и знаний об условиях движения и особенностях автомобиля. Применение «эталонных треков» исключает и/или минимизирует проблему принятия решений и корректировки маршрута движения, что повышает надежность работы системы автономного вождения, снижает требования к бортовым вычислительным мощностям и повышает скорость быстрогодействия системы, позволяя двигаться с большими эксплуатационными скоростями. Другими словами, ADAS не имеет возможности автономного совершения маневров, в том числе ухода с заданной траектории, сохранив опцию принятия решений о скорости движения.

#### ADAS в сложных погодных условиях

Исследования, проведенные учеными МАДИ, показали, что зарубежные системы помощи водителю эффективны при идеальных погодных условиях (солнечная погода, ровный сухой асфальт, хорошая видимость и т. п.), но могут давать высокий процент отказов в менее благоприятных условиях, которые очень часто встречаются на дорогах России [2]. По результатам многочисленных дорожных исследований коллективом МАДИ предложена методика проверки эффективности действия опережающих систем экстренного торможения (ОСЭТ) при различном сцеплении с дорожным покрытием. Также в МАДИ проводятся испытания эффективности действия системы электронного контроля устойчивости автомобиля, оснащенного шипованными шинами. Предложен новый способ оценки эффективности действия систем электронного контроля

устойчивости на льду, пригодный для автомобилей, оснащенных шипованными шинами [7].

Дефицит визуальной информации, возникающий из-за ухудшения погодных условий, сложной геометрии автомобильной дороги, неисправности системы освещения автомобиля, является одной из причин возникновения аварийной ситуации. Для решения указанной проблемы требуется совершенствование методов и средств и повышение активной безопасности автомобиля, в том числе путем развития информационной поддержки водителя. В [8] учеными из Оренбургского университета представлена ассоциативно-мажоритарная модель поддержки принятия решения по выбору режима позиционирования автомобиля, определены организация и архитектура высокопроизводительных устройств распознавания образов, используемых для информационной поддержки водителя в условиях дефицита визуальной информации на основе сигнатурного и ситуационного подходов. Тестирование разработанного устройства и сравнение его работы с классическим ассоциативно-мажоритарным устройством распознавания образов показало, что общая производительность устройств на основе сигнатурного подхода выше на 17%, а устройств на основе ситуационного подхода — на 26%.

#### Информационная система определения состояния водителя

Важной темой научных разработок является вопрос определения времени возможной передачи управления автомобилем от интеллектуальной системы безопасности водителю, когда водитель потенциально способен выполнять требуемые алгоритмы деятельности, при переходе с автоматического режима управления движением на ручной. Для решения задачи специалисты из Беларуси в [9] предлагают использовать бортовую информационно-аналитическую систему (БИАС). Последняя предназначена для превентивного автоматического упреждения развития аварийной ситуации, в том числе вызванной ошибочными действиями водителя или автоматической интерпретацией опасных состояний водителя (не совместимых с выполнением основных алгоритмов по управлению автомобилем) в реальном масштабе времени путем удержания транспортного средства в полосе движения. БИАС взаимодействует с другими информационными системами автомобиля (активной безопасности, электромеханического усилителя рулевого управления, мониторинга мертвых зон вокруг движущегося автомобиля, электронно-пневматического привода тормозов, системой адаптивного круиз-контроля, пассивных ADAS). В БИАС используется бортовой модуль определения опасных состояний водителя (глубокой релаксации, потери сознания или смерти водителя), в котором автоматическая интерпретация релаксации водителя (не совместимой с требуемой готовностью к выполнению алгоритмов деятельности по управлению автомобилем) основана на автоматическом анализе параметров электродермальной активности.

#### Диагностические системы

Для успешной эксплуатации автомобиля требуется корректная и надежная работа всех его систем. В связи



с этим следующим актуальным направлением исследований в области автомобилестроения является создание диагностических методов контроля за техническим состоянием отдельных узлов автомобиля.

Ключевой элемент безопасности автомобиля — антиблокировочная система (ABS) тормозов. Для контроля исправности ABS производители используют систему самоконтроля, которая отвечает за исправность электрических цепей и уровня сигнала. Однако данная система не исчерпывает все возможные неисправности ее элементов. Также система не контролирует состояние рабочей тормозной системы автомобиля. Необратимые изменения, происходящие с приводом тормозной системы (износ фрикционных накладок тормозных колодок, тормозного диска/барабана, старение тормозной жидкости и т.п.) неизбежно влияют на эффективность работы тормозной системы автомобиля. В таком случае корректная работа ABS сохраняется, но эффективность торможения падает вплоть до отказа системы. Ученые их Волгоградского университета разработали автоматизированную бортовую систему, следящую за состоянием тормозной системы и ABS в режиме реального времени. Важным отличием от существующих систем диагностики является возможность определения точной неисправности элемента автоматизированной тормозной системы автомобиля и причины возникновения неисправности [10].

#### Кибербезопасность

Развитие высокоавтоматизированных ADAS-решений и алгоритмов для беспилотных транспортных средств сопряжено с развитием коммуникационной инфраструктуры, взаимодействием с навигационными и облачными средами. При этом закономерно предположить, что при такой архитектуре решений на первый план должны выходить вопросы кибербезопасности. Актуальность сделанного предположения подтверждается исследователями в [11]. Однако обнаружить серьезные работы в области информационной безопасности применительно к решению задач ADAS и беспилотных автомобилей авторам не удалось. На основании этого можно сделать заключение, что на современном уровне доверия к ADAS отечественных водителей о кибербезопасности можно не беспокоиться. У разработчиков имеются гораздо более серьезные и ответственные направления исследований. Но в связи с бурным развитием автомобильной электроники очень возможно, что в скором времени приоритеты будут скорректированы.

#### Заключение

Имеющийся на сегодняшний день отечественный и зарубежный опыт в области реализации проектов транспортных средств с высокой степенью автоматизации пока говорит о невозможности применения этих систем на транспортных артериях населенных пунктов, тем более крупных городов. К использованию таких систем автоматизации необходимо подходить осторожно и постепенно. Именно по такому пути идут российские разработчики,

создавая и тестируя решения в области предотвращения столкновений, стабилизации движения автомобиля на заданной траектории, помощи водителю в сложных погодных условиях, диагностики состояния различных подсистем, важных для безопасности автомобиля, а также оценки состояния водителя и возможности управления транспортным средством. В обзоре для иллюстрации приведена лишь небольшая часть работ, выполненных отечественными разработчиками в рассматриваемой предметной области.

Автомобиль — техническое средство повышенной опасности, поэтому новые технологии помощи водителю должны быть направлены на повышение безопасности дорожного движения и ни в коем случае не создавать дополнительные помехи.

#### Список литературы

1. *Гайсин С.В., Кисуленко Б.В., Бочаров А.В., Пугачев В.В.* Интеллектуальные автомобили: опыт европейского союза и перспективы в России // Журнал автомобильных инженеров. 2017. №2.
2. *Грошев А.М., Тумасов А.В.* Интеллектуальные системы помощи водителю. Итоги 102-й международной конференции Ассоциации автомобильных инженеров // Журнал автомобильных инженеров. 2018. №2.
3. *Бузников С.Е.* Системный анализ проблемы активной безопасности автомобилей. 2017. <http://www.nami.ru>
4. *Сайкин А.М., Бузников С.Е., Шабанов Н.С., Елкин Д.С.* Математическая модель системы динамической стабилизации беспилотного транспортного средства // Тр. международного автомобильного научного форума МАНФ-2017 "Интеллектуальные транспортные системы". Москва. 2017.
5. *Бузников С.Е., Ендачев Д.В., Елкин Д.С., Струков В.О.* Задача стабилизации беспилотного транспортного средства на заданной траектории // Тр. международного автомобильного научного форума МАНФ-2017 "Интеллектуальные транспортные системы". Москва. 2017.
6. *Шадрин С.С.* Геоинформационное обеспечение автономного движения наземного транспорта // Тр. НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2018. № 3 (121).
7. *Иванов А.М., Кристальный С.Р., Попов Н.В., Фомичев В.А.* Новый способ оценки эффективности действия систем электронного контроля устойчивости на льду, пригодный для автомобилей, оснащенных шипованными шинами // Автомобильная промышленность. 2017. № 9.
8. *Аралбаев Т.З., Султанов Н.З., Сарайки А.И.* Повышение производительности информационной поддержки водителя в условиях дефицита визуальной информации // Автомобильная промышленность. 2018. №3.
9. *Савченко В.В., Поддубко С.Н.* Подход к разработке метода передачи управления транспортным средством водителю бортовыми системами в автоматическом режиме // Тр. НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2018. № 2 (121).
10. *Дыгало В.Г., Ларин Е.С., Котов В.В., Дыгало Л.В., Сморгачев А.Е., Деянов Д.С.* Диагностический комплекс приводов систем активной безопасности автомобиля // Тр. НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2018. № 2 (121).
11. *Беляев К.М., Романов А.А.* Кибернетическая безопасность беспилотного транспорта // Технико-технологические проблемы сервиса. 2018. №2(44).

*Аристова Наталья Игоревна — канд. техн. наук, старший научный сотрудник,  
Чадеев Валентин Маркович — д-р техн. наук, проф., главный научный сотрудник,  
Никулина Ирина Владимировна — научный сотрудник  
Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН.  
Контактный телефон (495) 334-91-30.*