



ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ

УДК 656.051

Д.В. ЕНДАЧЁВ, канд. техн. наук
исполнительный директор по информационным и интеллектуальным системам¹
E-mail: denis.endachev@nami.ru

С.В. БАХМУТОВ, д-р техн. наук, проф.
заместитель генерального директора по науке¹
E-mail: s.bakhmutov@nami.ru

В.В. ЕВГРАФОВ, канд. физ-мат. наук
директор Центра интеллектуальных систем¹
E-mail: vladimir.evgrafov@nami.ru

Н.П. МЕЗЕНЦЕВ
начальник управления интеллектуальных автомобилей¹
E-mail: Nikolay.mezentsev@nami.ru

¹Государственный научный центр Российской Федерации ФГУП «НАМИ», г. Москва, Россия

Поступила в редакцию 08.10.2020.

ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Современное транспортное машиностроение тесно связано с внедрением информационных систем. В автомобильном транспорте спектр таких разработок весьма широк: от систем помощи водителю (ADAS — Advanced Driver Assistance System) до систем полного автопилотирования. В статье дан краткий обзор состояния проблемы и представлены основные направления разработок ФГУП «НАМИ» в области ADAS и высокоавтоматизированных (беспилотных) транспортных средств (ТС). Даны описания бортовых систем автомобиля высокого уровня автоматизации, разрабатываемых ФГУП «НАМИ» с участием производителей. В статье также описаны ключевые технологии систем технического зрения, испытательные площадки для высокоавтоматизированных ТС.

Ключевые слова: система помощи водителю, автономный автомобиль, электронная система, активная безопасность

DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2020-4-53-5-10>

Введение. Анализ мировой тенденции создания и развития автономных наземных ТС и соответствующей инфраструктуры показывает, что автономный автомобильный транспорт может внести ощутимый вклад в решение многих существующих проблем. Среди них: повышение безопасности дорожного движения за счет создания на начальных этапах систем помощи водителю (ADAS) и в дальнейшем на более высоких уровнях автоматизации — исключение ошибок водителя, приводящих к дорожно-транспортным происше-

ствиям; рациональное управление транспортными потоками в крупных городах и мегаполисах, исключающее образование «пробок» и сокращающее время движения, вредные выбросы и расход топлива; организация перевозок колоннами автономных грузовых ТС из пункта «А» в пункт «Б»; реализация взаимодействия с дорожной инфраструктурой, дающей полную информацию о дорожной ситуации, техническом состоянии ТС, наличии сервисных служб на маршруте движения и взаимодействия с ними и многое другое.

Важно отметить, что каждый реализуемый этап в области создания автономного транспорта дает значимые результаты в отношении конкурентоспособности и технических характеристик выпускаемой автомобильной техники.

Одна из ключевых задач современных систем автоматического управления (САУ) движением ТС — исключение влияния человеческого фактора на управление ТС с целью повышения безопасности дорожного движения.

В настоящее время ФГУП «НАМИ» ведет разработки программного и аппаратного обеспечения для САУ движением от первого до пятого уровня автоматизации [1] для применения российскими автопроизводителями.

Цель статьи — показать важность рассматриваемой общемировой тенденции развития транспорта и информировать читателя о результатах, достигнутых ФГУП «НАМИ» в области проектирования и испытаний ADAS и САУ ТС.

Обзор зарубежных работ в области исследования и создания систем помощи водителю и автономного движения. В источниках [2, 3] представлены некоторые результаты разработки и тестирования новых решений в области автоматизации вождения. Внедрение возрастающих уровней автоматизации ТС с целью повышения безопасности дорожного движения требует нового подхода к процессу исследований и разработок. Рассмотрены возможные варианты таких подходов.

В работе [4] рассмотрены основные проблемы, связанные с созданием беспилотного ТС, проблемы в области ADAS, а также сбои в работе указанных систем при испытаниях. Кроме того, дана оценка безопасности движения и дополнительного энергопотребления, связанного с созданием автономных ТС.

Помощь водителю ТС в обнаружении пешеходов — важная задача, которую необходимо решать (рассмотрено в работе [5]). Для ее решения необходимо выполнять ряд требований: высокая производительность ADAS, обработка данных в режиме реального времени и интеграция указанной функции во встроенный электронный блок управления ADAS.

Для того, чтобы автоматизация вождения получила признание водителей и воплотилась в реальных условиях вождения, необходима система помощи нового поколения NDAS (New Driver Assistance System), созданная с учетом влияния человеческого фактора и обеспечивающая переход к беспилотным автомобилям. Работа [6] состоит из пяти частей. В первой части представлен баланс спроса и развития технологий, во второй — описывается развитие технологий помощи при вождении, в третьей — переходы между управлением водителем и автоматизированным управлением описываются как «проектные» задачи высокого уровня, в четвертой — представлена байесовская модель искусственного интеллекта, применяемая в NDAS.

В статье [7] предложен и разработан комплексный классификатор сверточной нейронной сети CNN (Convolutional Neural Network) «WAF-LeNet», который будет использоваться для распознавания и идентификации дорожных знаков в качестве расширения возможностей технологий автономного вождения.

В источнике [8] предлагается быстрый и надежный метод обнаружения и отслеживания полос движения. Предлагаемый метод применим как в ADAS, так и в САУ. Основное внимание в предлагаемой методике уделяется простоте и быстродействию вычислений, что позволяет внедрить ее в доступные процессоры, которые используются системами ADAS.

В работе [9] рассмотрен непрерывный радиолокатор с частотной модуляцией FMCW (Frequency-Modulated Continuous Wave) — радиолокатор с непрерывной волной, широко используемый для интеллектуального адаптивного круиз-контроля ACC (Adaptive Cruise Control) и системы предупреждения о столкновениях CWS (Collision Warning System). Представлена конструкция и моделирование FMCW-радиолокатора миллиметрового диапазона, включая его целевую модель. Конструктивное исполнение радиолокатора FMCW 76,5 ГГц и его целевая модель получены с использованием программного обеспечения ADS (Advanced Design System).

В публикации [10] отмечено, что ADAS оказывает влияние на водителей двумя способами. Во-первых, она предоставляет информацию об окружающей среде, текущей ситуации в процессе движения и побуждает водителя изменить свое поведение в отношении управления ТС. Во-вторых, система напрямую влияет на поведение водителя, чтобы обеспечить безопасность движения. Такая система оказывает на водителя два разных эффекта. Первый — когнитивный эффект, как импульс к активной работе с полученной информацией: ее осмысление, постановка в связь с уже имеющимися знаниями, сопровождающимися субъективной оценкой системы ADAS водителем. Второй — поведенческий эффект, включающий в себя изменения в поведении водителя после начала работы ADAS. Авторы изучили влияние представления информации и поведенческого вмешательства на процесс управления как в когнитивном, так и в поведенческом аспектах. Результаты показывают, что представление информации оказывает значительное влияние на изменение поведения водителя после пользования системой ADAS, в то время как поведенческое вмешательство оказывает значительное влияние на оценки водителем системы.

Разработки ФГУП «НАМИ» в области ADAS, беспилотных ТС, интеллектуальных транспортных систем. Интеллектуальное ТС — ТС, в котором присутствуют функции, способные заменить во-

дителя ситуативно (уровни автоматизации 1–4) или полностью (уровень автоматизации 5) в части задачи управления движением.

Для реализации этих функций необходимо на начальном этапе эквивалентно продублировать, а затем и заменить функции водителя по зрению, ориентации в пространстве, принятию решений и управлению электронными исполнительными устройствами. Состав электронных устройств в обязательном порядке должен содержать органы технического зрения (камеры, лидары, радары), устройства навигации и связи с инфраструктурой, электронные блоки управления (или суперкомпьютеры для задач автопилота), а также роботизированное шасси, адаптированное под функции ADAS или CAU. Во ФГУП «НАМИ» ведутся глубокие исследования и разработки по всем указанным направлениям. В данной статье изложены основные подходы к решению этих задач.

ФГУП «НАМИ» совместно с отечественным партнером разработал программно-аппаратный комплекс систем ADAS для автомобилей AURUS проекта ЕМП (единая модульная платформа): уровень 0-2 (LDW — Lane departure warning; BSD — Blind spot detection; ACC; RSR — Road sign recognition; AEB — Automatic Emergency Braking). Специально были разработаны и в настоящее время проходят валидационные испытания компоненты: мультифункциональная камера за ветровым стеклом, фронтальный и задние радары, блок управления.

С 2018 г. проводились разработки CAU на базе легкового автомобиля с ДВС (двигателем внутреннего сгорания) LADA Vesta (рисунок 1).

В рамках этих работ был реализован следующий функционал: автоматизированное движение по маршрутам, распознавание автомобилей, пешеходов, велосипедистов, дорожных знаков и разметки, коммуникация V2X (Vehicle-to-Infrastructure), объезд препятствий, следование

правилам дорожного движения, роботизация шасси во всем диапазоне скоростей автомобиля и на любых уклонах дороги.

Следующая технология, над которой работают специалисты института, заключается в обеспечении связи между участниками дорожного движения: V2X по технологии ITS-G5 (Intelligent Transport Systems Generation 5) и C-V2X (Cooperative Vehicle-to-Infrastructure). За 2018–2020 гг. разработана и совершенствуется сервисная V2X-платформа, которая обеспечивает выполнение различных V2X-сервисов: предупреждение о проезде ТС на запрещающий сигнал светофора, предупреждение водителя о высокой вероятности столкновения с другими ТС на перекрестке и другие.

Система технического зрения — видеораспознавание. В настоящее время основные проводимые работы по направлению видеораспознавания — сбор и разметка видеоданных, обучение нейросетей, разработка методик калибровки видеокамер и совместной калибровки видеокамер и лидаров, исследования в области стереозрения и оптической одометрии. Реализован следующий функционал: распознавание автомобилей, пешеходов, велосипедистов, дорожных знаков и разметки, визуальная одометрия, сегментация дорожной сцены с детекцией различных зон и объектов. Примеры результатов работ приведены на рисунке 2.

Система технического зрения — лидары. Многие компании решают задачи автоматизации управления, картографии и навигации, определения препятствий с помощью лидаров (рисунок 3).

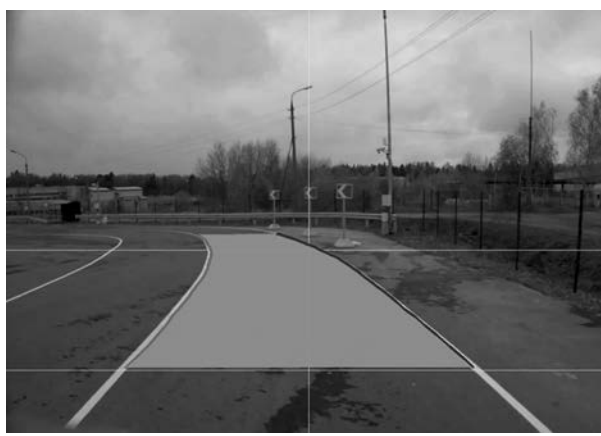
Специалисты ФГУП «НАМИ» провели комплекс работ по формированию системы обработки данных, алгоритмов для реализации следующих функций, необходимых для беспилотного управления: формирование 3D-карты, адаптированной под работу с CAU с возможностью детализации до 10 см, удаление с карты ненужных объектов



Рисунок 1 — Автоматизированное ТС на базе серийного автомобиля LADA Vesta
Figure 1 — Automated vehicle based on the LADA Vesta production car



a



b

Рисунок 2 — Примеры функционирования системы распознавания видеопотока
Figure 2 — Examples of functioning of the video stream recognition system

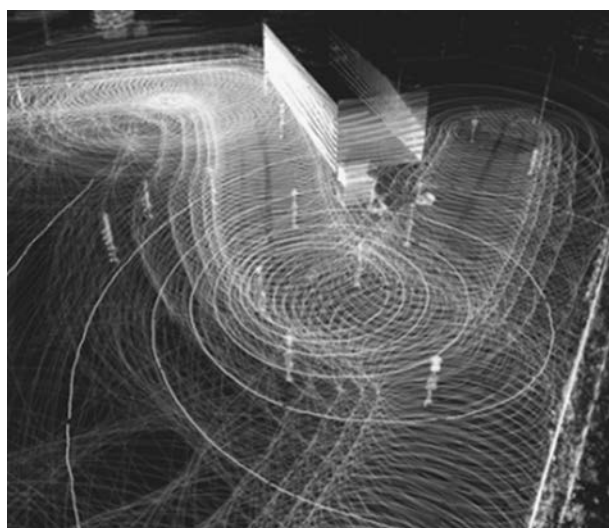


Рисунок 3 — Результаты работы лидара
Figure 3 — LIDAR working results

(пешеходы, автомобили, здания, участки дорог), склейка карт с другими картами (с уже существующими или новыми), например, для оцифровки района или города, разметки координат карты как в локальной системе координат, так и в гло-

бальной, создание векторных карт, локализация автомобиля в пространстве SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) с точностью позиционирования до 10 см, детектирование и трекинг объектов на дистанциях до 100 м.

Полигон и площадка для тестирования (калибровки) ADAS и беспилотных ТС. Полигонные испытания автономных ТС являются важной составляющей подготовки и реализации беспилотного движения в реальных условиях. Для проведения работ по тестированию и калибровке автомобилей с функциями ADAS и автоматизированного вождения на двух площадках — ФГУП «НАМИ» (г. Москва) и Автополигон НАМИ (г. Дмитров) — организованы специальные полигоны.

Полигон для беспилотных ТС на базе Автополигона НАМИ оснащен разметкой, знаками, светофорами, пешеходными переходами, ж/д переездом, тоннелем/эстакадой, моделью здания, шлагбаумами и т. д. (рисунок 4). Управление элементами полигона ведется из диспетчерского пункта.

Многообразие элементов обустройства полигона позволяет имитировать максимальное количество сценариев, а искусственное освещение обеспе-



a



b

Рисунок 4 — Полигон для беспилотных ТС на Автополигоне НАМИ
Figure 4 — Proving ground for testing unmanned vehicles on the NAMI Proving Ground

чивает проведение испытаний в круглосуточном режиме. Мобильные элементы инфраструктуры позволяют изменять конфигурацию полигона в зависимости от решаемых задач.

Заключение. В статье представлены разработки ФГУП «НАМИ» в области систем помощи водителю (ADAS) и беспилотных ТС. Приведены примеры бортовых систем высокоавтоматизированных автомобилей, разработанных с участием ФГУП «НАМИ». Приведены ключевые технологии в части систем технического зрения, основанные на камерах и лидарах, описаны испытательные полигоны ФГУП «НАМИ» для тестирования высокоавтоматизированных ТС.

Анализ зарубежной и отечественной специальной литературы в области автоматизации движения ТС показывает высокий интерес к решению указанной проблемы со стороны ведущих производителей автомобильной техники, научных и инженеринговых организаций, ведущих технических университетов передовых промышленных стран. Такой мировой тренд вызван не только стремлением повысить конкурентоспособность выпускаемых ТС, но и поэтапным решением многих важных задач современного автостроения: повышение безопасности дорожного движения, снижение расхода топлива и вредных выбросов в условиях интенсивного движения в крупных городах и мегаполисах, повышение эффективности грузовых перевозок, оптимизация транспортных потоков для повышения средних скоростей движения и др.

Почти 10-летний опыт активной и комплексной работы ФГУП «НАМИ» в области искусственного интеллекта и автоматизации движения ТС привел к появлению существенного задела в решении указанной проблемы и формированию научных и инженерных компетенций в области интеллектуального транспорта с различными уровнями автономности его движения. Разработки и опыт ФГУП «НАМИ» признаны ведущими отечественными автопроизводителями, что подтверждается совместными работами в этой области для серийной и перспективной автомобильной техники.

Список литературы

1. Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles: SAE J3016:201806 // SAE International. — Mode of access: https://www.sae.org/standards/content/j3016_201806/. — Date of access: 10.11.2020.
2. Russo Spina, M. Virtual Testing of Advanced Driving Assistance Systems [Electronic resource] / M. Russo Spina, F. Timpone, F. Farroni // International Journal of Mechanics 9:300-308, December 2015. — Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/286186075_Virtual_Testing_of_Advanced_Driving_Assistance_Systems. — Date of access: 10.11.2020.
3. A Concept for Human-Machine Negotiation in Advanced Driving Assistance Systems [Electronic resource] / S. Rothfuß [et al.] // IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC), October 2019. — DOI: 10.1109/SMC.2019.8914282.
4. Giacalone, J.-P. From Advanced Driving Assistance Systems to Autonomous Drive: The Complexity Challenge [Electronic resource] / J.-P. Giacalone // Conference: eSAME 2017; Sophia Antipolis — France, November, 2017. — Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/322821305_FROM_ADVANCED_DRIVING_ASSISTANCE_SYSTEMS_TO_AUTONOMOUS_DRIVE_THE_COMPLEXITY_CHALLENGE. — Date of access: 10.11.2020.
5. Pedestrian Detection for Advanced Driving Assisting System: A Transfer Learning Approach [Electronic resource] / R. Ayachi [et al.] // 5th International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing (ATSIP), October 2020. — Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/344876764_Pedestrian_Detection_for_Advanced_Driving_Assisting_System_A_Transfer_Learning_Approach. — Date of access: 10.11.2020.
6. Khan, A.M. Modelling Human Factors for Advanced Driving Assistance System Design [Electronic resource] / A.M. Khan // Advances in Human Aspects of Transportation, January 2017. — Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/304996145_Modelling_Human_Factors_for_Advanced_Driving_Assistance_System_Design. — Date of access: 10.11.2020.
7. Traffic signs classification by deep learning for advanced driving assistance systems / W.A. Farag // Intelligent Decision Technologies. — 2019. — Vol. 13, no. 3. — Pp. 305–314. — Mode of access: <https://content.iospress.com/articles/intelligent-decision-technologies/idt180064>. — DOI: 10.3233/IDT-180064.
8. Farag, W.A. Road Lane-Lines Detection in Real-Time for Advanced Driving Assistance Systems [Electronic resource] / Wael A. Farag, Zakaria Saleh // International Conference on Innovation and Intelligence for Informatics, Computing, and Technologies (3ICT). — 2018. — DOI: 10.1109/3ICT.2018.8855797.
9. Yadav, R. A high performance 76.5 GHz FMCW RADAR for advanced driving assistance system [Electronic resource] / R. Yadav, P.K. Dahiya, R. Mishra // IEEE. 3rd International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN), February 2016. — DOI: 10.1109/SPIN.2016.7566724.
10. Cognitive and Behavioral Effects on Driving by Information Presentation and Behavioral Intervention in Advanced Driving Assistance System [Electronic resource] / Sh. Matsubayashi [et al.] // ResearchGate, December 2018. — Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/342846297_Cognitive_and_Behavioral_Effects_on_Driving_by_Information_Presentation_and_Behavioral_Intervention_in_Advanced_Driving_Assistance_System. — Date of access: 10.11.2020.

ENDACHEV Denis V., Ph. D. in Eng.

Executive Director on Information and Intelligent Systems¹
E-mail: denis.endachev@nami.ru

BAKHMUTOV Sergey V., D. Sc. in Eng., Prof.

Deputy CEO for Science¹
E-mail: s.bakhmutov@nami.ru

EVGRAFOV Vladimir V., Ph. D. in Phys. and Math.

Director of the Center of Intelligent Systems¹

E-mail: vladimir.evgrafov@nami.ru

MEZENTCEV Nikolay P.

Head of the Department of Intelligent Vehicles¹

E-mail: Nikolay.mezentsev@nami.ru

¹State Research Center of the Russian Federation FSUE “NAMI”, Moscow, Russia

Received 08 October 2020.

ELECTRONIC SYSTEMS OF INTELLIGENT VEHICLES

Modern automotive engineering is closely related to the implementation of information systems. In automobile transport, the range of such developments is considerably wide: from driver assistance systems (ADAS — Advanced Driver Assistance System) to full autopilot systems. The article provides a brief overview of the state of the problem and presents the main directions of development of the State Research Center of the Russian Federation FSUE “NAMI” in the field of ADAS and highly automated (unmanned) vehicles. Descriptions of on-board vehicle systems of a high level of automation are given developed by the State Research Center of the Russian Federation FSUE “NAMI” with the participation of manufacturers. The article also describes the key technologies of machine vision systems, test sites for highly automated vehicles.

Keywords: driver assistance system, autonomous vehicle, electronic system, active safety

DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2020-4-53-5-10>

References

- SAE J3016:201806. *Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for onroad motor vehicles*. 2018. Available at: https://www.sae.org/standards/content/j3016_201806/ (accessed 10 November 2020).
- Spina R.M., Timponi F., Farroni F. Virtual testing of advanced driving assistance systems. *International journal of mechanics*, 2015, vol. 9, pp. 300–308. Available at: https://www.researchgate.net/publication/286186075_Virtual_Testing_of_Advanced_Driving_Assistance_Systems (accessed 10 November 2020).
- Rothfuß S., Schmidt R., Flad M., Hohmann S. A concept for human-machine negotiation in advanced driving assistance systems. *Proc. International conference on systems, man and cybernetics (SMC)*. 2019. DOI: 10.1109/SMC.2019.8914282.
- Giaccalone J.P. From advanced driving assistance systems to autonomous drive: the complexity challenge. *Proc. eSAME 2017*. Sophia Antipolis, 2017. Available at: https://www.researchgate.net/publication/322821305_FROM_ADVANCED_DRIVING_ASSISTANCE_SYSTEMS_TO_AUTONOMOUS_DRIVE_THE_COMPLEXITY_CHALLENGE (accessed 10 November 2020).
- Ayachi R., Afif M., Said Y., Abdelali A.B. Pedestrian detection for advanced driving assisting system: a transfer learning approach. *Proc. 5th International conference on advanced technologies for signal and image processing (ATSIP)*. Sousse, 2020. Available at: https://www.researchgate.net/publication/344876764_Pedestrian_Detection_for_Advanced_Driving_Assisting_System_A_Transfer_Learning_Approach (accessed 10 November 2020).
- Khan A.M. Modelling human factors for advanced driving assistance system design. *Advances in human aspects of transportation*, 2017, pp. 3–14. Available at: https://www.researchgate.net/publication/304996145_Modelling_Human_Factors_for_Advanced_Driving_Assistance_System_Design (accessed 10 November 2020).
- Farag W.A. Traffic signs classification by deep learning for advanced driving assistance systems. *Intelligent decision technologies*, 2019, vol. 13, no. 3, pp. 305–314. DOI: 10.3233/IDT180064.
- Farag W.A., Saleh Z. Road lanelines detection in real-time for advanced driving assistance systems. *Proc. International conference on innovation and intelligence for informatics, computing, and technologies (3ICT)*. 2018. DOI: 10.1109/3ICT.2018.8855797.
- Yadav R., Dahiya P.K., Mishra R. A high performance 76.5 GHz FMCW RADAR for advanced driving assistance system. *Proc. 3rd International conference on signal processing and integrated networks (SPIN)*. Noida, 2016. DOI: 10.1109/SPIN.2016.7566724.
- Matsubayashi Sh., Miwa K., Yamaguchi T., Kamiya T., Suzuki T., Ikeura R., Hayakawa S., Ito T. *Cognitive and behavioral effects on driving by information presentation and behavioral intervention in advanced driving assistance system*. 2018. Available at: https://www.researchgate.net/publication/342846297_Cognitive_and_Behavioral_Effects_on_Driving_by_Information_Presentation_and_Behavioral_Intervention_in_Advanced_Driving_Assistance_System (accessed 10 November 2020).